

# ÍNFORME DE TESIS - NFSP

*por* NIXON FRANCISCO SALAS PEREDA

---

**Fecha de entrega:** 10-nov-2023 05:50p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2219330499

**Nombre del archivo:** Tesis\_Nixon\_Salas.docx (21.15M)

**Total de palabras:** 19450

**Total de caracteres:** 115960

<sup>1</sup>**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO**

**BENEDICTO XVI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SIKACEM-PLASTIFICANTE  
SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y MECÁNICAS DE  
MORTEROS ACTIVADOS ALCALINAMENTE A PARTIR DE  
CONCRETO RECICLADO**

<sup>2</sup>**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

Br. Nixón Francisco Salas Pereda

**ASESOR**

Mg. Aldo Castillo Chung

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2270-1671>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Vivienda, saneamiento y transporte

**TRUJILLO – PERÚ**

**2023**

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Mons. Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.**

Arzobispo Metropolitano de Trujillo  
Fundador y Gran Canciller de la Universidad  
Católica TrujilloBenedicto XVI

**Dr. Luis Miranda Díaz**

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

**Dra. Mariana Silva Balarezo**

Vicerrectora Académica

**Dra. Ena Cecilia Obando Peralta**

Vicerrectora de Investigación

**Mg. Breitner Díaz Rodríguez**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Dra. Teresa Reátegui Marín**

Secretario General

## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

<sup>1</sup> Señor(a) Decano(a) de la Facultad de Ingeniería:

Yo, Mg Aldo Roger Castillo Chung <sup>1</sup> con DNI N° 18132971, como asesora del trabajo de investigación **INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SIKACEM-PLASTIFICANTE SOBRE LAS <sup>4</sup> PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y MECÁNICAS DE MORTEROS ACTIVADOS ALCALINAMENTE A PARTIR DE CONCRETO RECICLADO**, desarrollada por el bachiller Br. Nixón Francisco Salas Pereda DNI N° 19671049 <sup>1</sup> respectivamente, egresada del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

<sup>1</sup> Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es menor o igual al 20 %, estándar permitido por el Reglamento de grados y títulos de la Universidad Católica de Trujillo.



Mg. Aldo Castillo Chung  
DNI: 18132971

**A Dios**

*Por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*A mis padres Adelina y Santiago*

*Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

**A mis hijos**

*Por ser el motor de mi existencia, de mis luchas constantes y mis deseos de alcanzar mis objetivos personales y profesionales.*

16  
**AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por las inmensas oportunidades que me ha ofrecido para aprender, desde los libros hasta las grandes personas que me ha permitido conocer. Por la familia con que me ha bendecido, especialmente a mi hermano Jorge, quien en todo momento me brinda su apoyo y asesoramiento permitiéndome lograr las metas trazadas.*

*A mis padres, quiénes continuamente me motivan.*

*A mi hija, por su comprensión y cariño.*

*Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.*

*¡Gracias a todos ustedes!*

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, NIXÓN FRANCISCO SALAS PEREDA con DNI: 19671049, Egresado del programa de estudios de Ingeniería Civil. De la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, doy fe que he seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SIKACEM-PLASTIFICANTE SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS Y MECÁNICAS DE MORTEROS ACTIVADOS ALCALINAMENTE A PARTIR DE CONCRETO RECICLADO”, el cual consta de un total de 131 páginas, incluyendo tablas, figuras y anexos.

Dejo constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaro bajo juramento en razón a los requisitos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a mi autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Así mismo, garantizo que los fundamentos teóricos están respaldados por la referencia bibliográfica, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual de mi responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 13%, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

El autor



Nixón Francisco Salas Pereda

DNI: 19671049

## ÍNDICE

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	ii
<b>1</b> CONFORMIDAD DEL ASESOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
2.1. Enfoque y tipo.....	32
2.2. Diseño de Investigación.....	32
<b>2</b> 2.3. Objeto de Estudio.....	33
2.4. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos.....	37
2.4.1. Instrumentos de recojo de datos.....	37
2.4.2. Técnicas de recojo de datos.....	37
2.4.3. Equipos de laboratorio de recojo de datos.....	37
2.5. Técnicas de <b>30</b> procesamiento y análisis de datos.....	38
2.5.1. Técnicas de procesamiento.....	38
2.5.2. Análisis de datos.....	40
2.6. Aspectos éticos en investigación.....	40
2.6.1. Uso Responsable de Recursos.....	40
2.6.2. Citas y Reconocimiento de Fuentes.....	40



2.6.3. Respeto por los Derechos de los Participantes.....	40
2.6.4. Equidad y Justicia.....	40
2.6.5. Honestidad y Transparencia.....	40
<sup>16</sup> III. RESULTADOS.....	42
3.1. Descripción de resultados.....	42
3.1.1. Densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	42
3.1.2. Porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	43
<sup>17</sup> 3.1.3. Resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	45
3.1.4. Porcentaje de fases amorfas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	46
3.1.5. Formación de geles C-AS-H de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	49
3.2. Prueba de Hipótesis.....	51
3.2.1. Densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	51
3.2.2. Porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	54
<sup>17</sup> 3.2.3. Resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	57
3.2.4. Porcentaje de fases amorfas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	60

3.2.5. Formación de geles C-AS-H de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	34 60
IV. DISCUSIÓN.....	61
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES.....	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
ANEXOS.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Montaje del ensayo de resistencia a la compresión de un mortero de cemento.....	24
<b>Figura 2.</b> Etapas del proceso de geopolimerización.....	26
<b>Figura 3.</b> Representación esquemática de la acción de los aditivos plastificantes.....	28
<b>Figura 4.</b> Áridos de concreto reciclado: (a) Antes del ensayo de abrasión (b) Después del ensayo de abrasión.....	30
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo del procedimiento experimental.....	39
<b>Figura 6.</b> Resultados de densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	42
<b>Figura 7.</b> Resultados de porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	43
<b>Figura 8.</b> Resultados de resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	45
<b>Figura 9.</b> Imágenes de microscopía SEM de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a edad de 28 días: (a) 0.5%SP, (b) 1.0%SP, (c) 1.5%SP y (d) 2.0%SP.....	46
<b>Figura 10.</b> Espectros FTIR de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante.....	49
<b>Figura 11.</b> Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días.....	51
<b>Figura 12.</b> Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días.....	52
<b>Figura 13.</b> Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días.....	53

<b>Figura 14.</b> Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días.....	54
<b>Figura 15.</b> Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días.....	55
<b>Figura 16.</b> Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días.....	56
<b>Figura 17.</b> Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días.....	57
<b>Figura 18.</b> Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días.....	58
<b>Figura 19.</b> Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días.....	59

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Niveles de estudio.....	34
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de variables.....	35

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo determinar la influencia del porcentaje del aditivo plastificante Sikacem-plastificante sobre las propiedades físico-químicas como densidad, porosidad, porcentaje de fases amorfas y formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H; como también sobre las propiedades mecánicas en esfuerzo de compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado. La metodología de la investigación fue aplicada, explicativa y cuantitativa, y se contó con un diseño experimental. En el cual se fabricaron 75 morteros cúbicos de dimensiones 50x50x50mm, contando con un diseño de mezcla de a/c de 0.45 y con relación de volumen conglomerante/agregado fino de 2:1. Dicho agregado fino fue arena gruesa, y como material conglomerante; concreto reciclado pasante por tamiz N° 400. Estas mezclas se activaron alcalinamente con solución NaOH 6M. En el proceso de amasado, se les agregó aditivo plastificante Sikacem-plastificante, en niveles de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. Finalmente, los morteros se sometieron a métodos de caracterización físico-química mediante métodos SEM y FTIR. Como también a ensayos de caracterización mecánica por ensayos de compresión ASTM C109 a edades de 7, 14 y 28 días. Se obtuvieron como resultados que a medida que el porcentaje de adición de aditivo plastificante aumenta en el rango de 0.5% a 1.0%, las propiedades físico-químicas como las mecánicas, son afectadas. Incrementando la densidad, formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H y la resistencia a la compresión; como también disminuyendo la porosidad y porcentaje de fases amorfas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

**Palabras Clave:** *aditivo plastificante, morteros, concreto reciclado, geopolimerización*

## <sup>1</sup> ABSTRACT

The main goal of this thesis work was to determine the influence of the percentage of the plasticizer additive Sikacem-plasticante on the physicochemical properties such as density, porosity, percentage of amorphous phases and formation of C-A-S-H and N-A-S-H type gels; as well as on the mechanical properties in compressive strength of alkaline-activated mortars made from recycled concrete. The research methodology was applied, explanatory and quantitative, and had an experimental design. In which 75 cubic mortars with dimensions 50x50x50mm were manufactured, with a mix design of 0.45 for w/c and a binder/fine aggregate volume ratio of 2:1. The fine aggregate mentioned was coarse sand, and as a conglomerating material; recycled concrete passing through N° 400-mesh sieve. These mixtures were alkalinely activated with 6M NaOH solution. In the kneading process, Sikacem-plasticante plasticizer additive was added at levels of 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%. Finally, the mortars were subjected to physical-chemical characterization methods using SEM and FTIR methods. As well as mechanical characterization tests by ASTM C109 compression tests at ages of 7, 14 and 28 days. The results were obtained that as the percentage of plasticizer additive addition increases in the range of 0.5% to 1.0%, the physical-chemical properties, as well as the mechanical ones, are affected. Increasing the density, formation of C-A-S-H and N-A-S-H type gels and compression resistance; as well as reducing the porosity and percentage of amorphous phases of alkaline activated mortars from recycled concrete.

**Keywords:** *plasticizer additive, mortars, recycled concrete, geopolymerization*

## I. INTRODUCCIÓN

<sup>4</sup> Los residuos de construcción, en particular los residuos de bloques de concreto, presentan un importante desafío ambiental <sup>66</sup> en la industria de la construcción moderna. La acumulación de residuos de concreto plantea varios impactos perjudiciales sobre el medio ambiente y el bienestar humano. Uno de ellos es la disposición inadecuada de los residuos de construcción. Mayormente estos acaban en botaderos ilegales, conduciendo a la contaminación visual, <sup>4</sup> la contaminación del suelo y la contaminación de las aguas subterráneas. A medida que los escombros de concreto se descomponen con el tiempo en contacto de la intemperie, pueden liberar sustancias nocivas y metales pesados, comprometiendo aún más la calidad del suelo y potencialmente ingresando a la cadena alimentaria. De la misma forma, su transporte para su gestión emite gases de efecto invernadero, lo que altera al cambio climático. Abordar estos desafíos requiere prácticas de construcción <sup>24</sup> sostenibles, como el reciclaje y la reutilización de residuos de concreto, también requiere la adopción de materiales de construcción ecológicos y la implementación de estrategias eficientes de gestión de residuos para minimizar los efectos adversos sobre el medio ambiente y promover un futuro más sostenible para la industria de la construcción (Aldana y Serpell, 2012).

En la Unión Europea por su parte, estos residuos de construcción son el flujo de residuos más grande de la en términos de masa, con un número de 374 millones de toneladas en la UE-28, en el año 2016 (EEA, 2016).

Por otro lado, como ejemplo positivo, tenemos a Brasil, donde <sup>5</sup> la industria de la construcción tiene una importancia como productor de residuos. Las regulaciones nacionales exigen que las empresas constructoras del país asuman la responsabilidad por los residuos producidos durante sus proyectos, lo que les obliga a gestionar estratégicamente su eliminación. Prediciendo el volumen de residuos que se generarán, categorizándolos en función de su naturaleza (como ladrillos, madera, vidrio, etc.). Esta diferenciación es vital ya que cada tipo de residuo requiere un espacio de almacenamiento adecuado y métodos de tratamiento distintos (Barrientos, 2016).

<sup>40</sup> En la Unión Europea y América del Norte, las estrictas normas ambientales exigen que los proyectos de construcción utilicen materiales recuperados de demoliciones anteriores. Este enfoque tiene como objetivo maximizar la utilización de estos materiales sobrantes, disminuyendo así la presión sobre los recursos naturales típicamente asociada

con tales procesos. A pesar de estos esfuerzos concertados, nuestra realidad actual ilustra una falta de avances sustanciales <sup>19</sup> en la reutilización efectiva de los desechos de construcción y demolición. El progreso gira principalmente en torno a estándares establecidos y marcos legales en este ámbito. Sin embargo, en la práctica, estas normas con frecuencia se vuelven obsoletas, ya que pasan desapercibidas o simplemente se ignoran. En consecuencia, esta negligencia resulta en la acumulación de desechos a lo largo de las regiones costeras y vertederos informales (Barrientos, 2016).

En nuestra nación, Perú, la fuerte urbanización ha provocado un aumento de la construcción, resultando en la creación de 30000 metros cúbicos de espacio de desmonte, lo que equivale a 19000 toneladas métricas, dentro de la ciudad capital de Lima el 2017. Donde, un sorprendente 70 % de estos desechos se desecha en los océanos y ríos, mientras que el 30 % restante llega a los sitios de disposición adecuados (El Comercio, 2017). La falta de un sistema de gestión de residuos centralizado, como la informalidad en la industria de la construcción, permite a que la problemática siga incrementándose año tras año.

<sup>51</sup> Si bien la industria de la construcción juega un papel fundamental en la economía de nuestro país, creando perspectivas de empleo tanto para expertos calificados como para trabajadores menos especializados, lamentablemente, la capacidad del sector para actuar como motor del desarrollo de infraestructura sigue desaprovechada. Este potencial es particularmente relevante en países en desarrollo como el nuestro, donde aún no se ha concretado su pleno aprovechamiento (Cámara de Comercio de Lima, 2018).

<sup>8</sup> Antes esta problemática, se planteó una solución mediante la utilización de aquel concreto reciclado proveniente de residuos de construcción para la fabricación de morteros geopoliméricos, adicionalmente siendo posible de ser optimizado con la inclusión de aditivos plastificantes. Este enfoque destaca varias ventajas cruciales que contribuyen a las prácticas de construcción sostenible y al rendimiento mejorado del material. Surgiendo la interrogante: <sup>3</sup> ¿Cuál es la influencia del porcentaje de Sikacem-plastificante sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado? Esta práctica aborda las preocupaciones ambientales, reduce los desechos, conserva la energía, mejora las propiedades de los materiales y contribuye a la viabilidad económica. Al adoptar este enfoque, la industria de la construcción puede fomentar un camino más responsable y eficiente en el uso de los recursos hacia la construcción de un futuro sostenible.



El propósito de investigación, pretendió determinar en qué medida el porcentaje de adición de aditivo plastificante Sikacem-plastificante influye en las propiedades físico-químicas y mecánicas de morteros alcalinos a base de concreto reciclado. De este modo, los residuos de concreto provenientes de la industria constructora al ser activados mediante la geopolimerización, pueden aportar propiedades excepcionales en términos de desempeño económico, funcional y medioambiental.

Como justificación general, esta investigación tiene una gran importancia en el ámbito de la construcción sostenible. A medida que la industria de la construcción lidia con la escasez de recursos, la gestión de desechos y las preocupaciones ambientales, este estudio aborda una brecha crítica al examinar cómo los aditivos plastificantes pueden mejorar el rendimiento de los morteros activados alcalinos. Esta investigación se alinea con el impulso global de prácticas sostenibles y ofrece un camino para optimizar la utilización de materiales reciclados en la construcción.

Desde un punto de vista práctico, esta investigación responde directamente a la necesidad urgente de eficiencia de recursos y reducción de residuos dentro del sector de la construcción. Mediante la incorporación de aditivos plastificantes en morteros alcalinos activados provenientes de concreto reciclado y el estudio de su impacto en la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad, esta investigación brinda soluciones concretas para mejorar las propiedades del material. Las implicaciones prácticas se extienden al ahorro potencial de costos, la mejora de la eficiencia de la construcción y la promoción de prácticas de economía circular.

El fundamento teórico de esta investigación se basó en los principios de la química de materiales, la ciencia de los aditivos y la mecánica de materiales compuestos. Al profundizar en las interacciones químicas de los aditivos plastificantes con los morteros alcalinos activados, estudiar el comportamiento mecánico y analizar las propiedades estructurales, este estudio contribuye a los avances teóricos en estos campos. Además, la investigación se basa en el conocimiento existente sobre materiales sostenibles, utilización de residuos y técnicas de construcción innovadoras.

La justificación socioambiental radicó en su potencial para abordar las preocupaciones ambientales y sociales. Al optimizar el uso de concreto reciclado a través de la integración de aditivos plastificantes en morteros alcalinos activados, este estudio ofrece un medio directo para mitigar los residuos sólidos que se encuentran dispersos

alrededor de la ciudad, reducir las emisiones de carbono asociadas con la producción de cemento y conservar los recursos naturales. Los resultados de la investigación también tienen el potencial de contribuir a mejorar la calidad del aire, reducir la contaminación visual y promover prácticas de construcción sostenible.

El enfoque metodológico se caracterizó por su rigor, integridad científica y análisis integral. Se realizaron experimentos de laboratorio para incorporar aditivos plastificantes en morteros alcalinos activados a base de concreto reciclado. Los ensayos mecánicos cuantificaron los efectos sobre la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad. Los métodos avanzados de caracterización de materiales proporcionaron información sobre los cambios microestructurales dentro del compuesto. El empleo de metodologías estandarizadas asegura la confiabilidad y validez de los resultados de la investigación.

<sup>8</sup> Como objetivo general se planteó <sup>4</sup> determinar la influencia del porcentaje del aditivo plastificante Sikacem-plastificante sobre las propiedades fisico-químicas y mecánicas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

De igual forma se plantearon como objetivos específicos: determinar las propiedades físicas y caracterización microscópica de la morfología de morteros mediante ensayos estándar ASTM C188 y caracterización SEM. Determinar las propiedades químicas en grupos funcionales resultantes de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo el método de caracterización FTIR. Determinar las propiedades mecánicas en esfuerzos de compresión de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C109.

Ante esto, se generó como hipótesis: el incremento del porcentaje de Sikacem-plastificante en el rango de 0.5% a 2%, modifica la resistencia mecánica y la composición química y física, incrementando <sup>1</sup> la resistencia a la compresión, la densidad y la formación <sup>21</sup> de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H, y a su vez disminuyendo el porcentaje de fases amorfas y la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

Como antecedentes mediante investigaciones previas a nivel internacional, se considerará a Triwulan y Januarti (2016) quienes tuvieron como objetivo de investigación de evaluar el efecto de un aditivo superplastificante en las <sup>50</sup> propiedades de concreto geopolimérico utilizando cenizas volantes como material base. Se realizaron pruebas de tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción. Se utilizó un análisis químico de las cenizas volantes para determinar los compuestos y óxidos

presentes. El superplastificante se añadió en diferentes proporciones al concreto geopolimérico para mejorar su trabajabilidad. Los resultados mostraron que la proporción de superplastificante = 1.5 obtuvo la mayor resistencia a la tracción con un valor de 3.5 MPa. Además, se encontró que el uso de superplastificante no afectó significativamente <sup>1</sup> la resistencia a la compresión del concreto geopolimérico, sino por la proporción de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ , obteniendo <sup>3</sup> la mayor resistencia con una proporción de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  = 2, con un valor de resistencia a la compresión de 5 MPa. Y se resaltó que uso del superplastificante no afectó significativamente al tiempo de fraguado del concreto geopolimérico. Estos hallazgos demuestran que el superplastificante <sup>35</sup> desempeña un papel importante en la mejora de la trabajabilidad del concreto geopolimérico sin comprometer su resistencia.

Por su parte, Carabba et al. (2016) en su estudio, se centraron en investigar si los aditivos químicos comercialmente disponibles diseñados para concreto Portland convencional pueden mejorar <sup>3</sup> las propiedades de los geopolímeros y morteros a base de cenizas volantes. El objetivo principal fue determinar cómo estos aditivos influyen tanto en las características mecánicas como microestructurales del material solidificado cuando se cura a temperatura ambiente. La trabajabilidad de los morteros geopoliméricos se midió mediante el ensayo de tabla de flujo convencional, de acuerdo con la norma EN 1015-3, un ensayo de absorción de agua por capilaridad según EN 15801, ensayo de contenido de aire de morteros geopoliméricos frescos de acuerdo con EN 1015-7. Los resultados obtenidos revelaron que la introducción de un superplastificante a base de éter policarboxílico, en una proporción de 1.0 wt. % relativo a la masa de cenizas volantes, mejora la trabajabilidad manteniendo la resistencia final del material solidificado. Además, la adición de superplastificantes a base de éter policarboxílico y acrílico condujo a una estructura de poros más fina en el mortero solidificado, lo que resulta en un tiempo prolongado de saturación de agua.

Asimismo, Jithendra y Elavenil (2019) <sup>31</sup> evaluaron la influencia de diferentes dosis de superplastificante en la trabajabilidad y propiedades de resistencia del concreto geopolimérico a base de GGBS <sup>5</sup> (escoria de alto horno granulada) bajo curado ambiental en su investigación científica. El objetivo fue determinar la dosis óptima de superplastificante para mejorar la trabajabilidad sin comprometer significativamente la resistencia del concreto. El método utilizado consistió en mezclar los materiales secos en una mezcladora de paletas durante 2 minutos, luego agregar la solución activadora alcalina (SS/SH) y finalmente agregar agua y superplastificante. Se utilizaron moldes de

acero de tamaño 100x100x100mm para la resistencia a la compresión y cilindros de 100x200 mm para la resistencia a la tracción por flexión. Las muestras se vibraron durante 10 segundos y se dejaron en condiciones ambientales durante 24 horas. Los resultados mostraron que el aumento en la dosis de superplastificante mejoró la trabajabilidad del concreto, pero también resultó en una ligera disminución en la resistencia. La resistencia a la compresión del concreto geopolimérico a base de GGBS con un 2% de superplastificante alcanzó 58.32 MPa a los 3 días y 89.6 MPa a los 28 días, mientras que con un 6% de superplastificante, la resistencia fue de 52.33 MPa a los 28 días. En conclusión, se encontró que el aumento en la dosis de superplastificante mejoró la trabajabilidad del concreto geopolimérico a base de GGBS, pero también resultó en una ligera disminución en la resistencia. Se recomendó una combinación de 6% de superplastificante y una concentración de hidróxido de sodio de 12M para la construcción prefabricada bajo curado ambiental.

También Kumar et al. (2023) en su investigación, realizaron la evaluación del desempeño de concreto geopolimérico utilizando ceniza volante y GGBS (escoria granulada de alto horno) con superplastificante de grado M20. El objetivo de la investigación fue comparar el concreto geopolimérico concreto convencional en términos de resistencia a la compresión. Se utilizó el método de diseño de mezcla de concreto geopolimérico según la norma IS10262-2019. El método de preparación de la muestra consistió en mezclar en una plataforma de acero impermeable y no absorbente la ceniza volante y el agregado fino hasta obtener una mezcla uniforme en color. Luego se agregó el agregado grueso y se mezcló hasta que estuviera distribuido uniformemente en la mezcla. Se agregó la solución química y se mezcló hasta obtener una consistencia homogénea. Los resultados obtenidos en términos de resistencia a la compresión mostraron que al emplear concreto geopolimero alcanzó 22.34 MPa a edad de 28 días, mientras que el concreto convencional alcanzó 21.10 MPa a la misma edad. Concluyendo que la tasa de ganancia de resistencia a la compresión del concreto geopolimérico es mayor que la del concreto convencional. Además, se observó que el concreto geopolimérico tiene una resistencia a la compresión comparable al concreto convencional.

Del mismo modo, Laskar et al. (2018) en su investigación, se centraron en el estudio de morteros geopoliméricos basados en escoria granulada de alto horno (UGGBS) y ceniza volante (FA). El objetivo fue evaluar la influencia de la adición de un superplastificante (SP) y la concentración del activador alcalino en las propiedades de los

morteros geopoliméricos. El método utilizado consistió en preparar mezclas de mortero geopolimérico con diferentes proporciones de UGGBS, FA, SP y concentración de activador alcalino. Se realizaron pruebas de tiempo de fraguado, fluidez y resistencia a la compresión en diferentes edades (7, 28 y 91 días). Para las pruebas de tiempo de fraguado se utilizaron las normas de la Indian Standard (IS 1727-1967). La fluidez de las mezclas se evaluó mediante la prueba de la mesa de flujo, también siguiendo la norma IS 1727-1967. Los resultados obtenidos mostraron que la adición de SP mejoró la trabajabilidad de las mezclas, siendo la dosificación ideal de 1.5%. pero en dosis altas (>1.5%) causó segregación en la mezcla. De la misma forma la resistencia aumenta a medida que aumenta la dosificación de SP hasta 0.5% con 49MPa. La concentración del activador alcalino también tuvo un efecto en las propiedades de los morteros geopoliméricos siendo ideal entre 8M y 14M. En conclusión, se encontró que la adición de SP mejoró la trabajabilidad de los morteros geopoliméricos, pero en dosis altas causó segregación en la mezcla. La concentración del activador alcalino también influyó en las propiedades de los morteros. Estos hallazgos son importantes para el desarrollo de morteros geopoliméricos más eficientes y sostenibles.

Además, Gupta et al. (2020) estudiaron las propiedades mecánicas y de durabilidad de un compuesto de concreto geopolimérico a diferentes dosis de superplastificante en su investigación. El objetivo fue evaluar el efecto del superplastificante en la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y absorción de agua del concreto geopolimérico. El método utilizado consistió en diseñar dos mezclas de concreto geopolimérico utilizando escoria granulada de alto horno (GGBS) y ceniza volante (Fly Ash) como aluminosilicatos activados por una solución alcalina. Se prepararon dos tipos de mezclas, una con 100% de GGBS y otra con 50% de GGBS y 50% de ceniza volante. Se agregó dosis de superplastificante reductor de agua de alto rango en ambas mezclas a diferentes porcentajes (1%, 2% y 3%). Se utilizó una relación agua/cemento inicial de 0.40 para el diseño de la mezcla. Las normas utilizadas fueron IS 10262-2019 e IS 456-2000 para el diseño de la mezcla de concreto. Como resultados de resistencia a la compresión mostraron que las muestras con dosis de superplastificante de 3% obtuvieron una resistencia a la compresión más alta en comparación con las muestras con dosis de 1% y 2%. En las mezclas con 100% de GGBS, la resistencia a la compresión a los 28 días de curado fue de 40.2 MPa para la muestra con 3% de superplastificante. En las mezclas con 50% de GGBS y 50% de ceniza volante, la resistencia a la compresión a los 28 días fue de 2.45 MPa para la muestra con 3% de superplastificante. En resistencia

a la tracción, mostraron que las muestras con dosis de superplastificante de 3% obtuvieron una resistencia a la tracción más alta en comparación con las muestras con dosis de 1% y 2%. En las mezclas con 100% de GGBS, la resistencia a la tracción a los 28 días de curado fue de 2.87 MPa para la muestra con 3% de superplastificante, mientras que en las mezclas con 50% de GGBS y 50% de ceniza volante, la resistencia a la tracción a los 28 días fue de 2.45 MPa para la muestra con 3% de superplastificante. La conclusión de la investigación fue que el uso de superplastificante en el concreto geopolimérico mejoró tanto la resistencia a la compresión como la resistencia a la tracción. Se observó que las mezclas con dosis de superplastificante de 3% obtuvieron los valores más altos de resistencia a la compresión y a la tracción. Además, se encontró que las mezclas con 100% de GGBS mostraron una resistencia a la compresión más alta en comparación con las mezclas con 50% de GGBS y 50% de ceniza volante. Estos resultados demuestran el potencial del concreto geopolimérico como una alternativa sostenible al concreto convencional.

Por último, Ongpeng (2022) investigó sobre la utilización de un aditivo plastificante en la producción de un geopolímero a base de residuos industriales. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del aditivo plastificante en las propiedades del geopolímero, como la trabajabilidad y resistencia. El método empleado consistió en la preparación de muestras de geopolímero utilizando cenizas volantes y escoria de alto horno como materiales de partida utilizando diferentes dosis de aditivo plastificante. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y trabajabilidad para evaluar las propiedades mecánicas del geopolímero. Además, se llevaron a cabo análisis microestructurales utilizando técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD). En cuanto a las normas utilizadas, se siguieron las normas ASTM C494 y ASTM C143 para las pruebas de trabajabilidad y resistencia del concreto. En cuanto a los resultados obtenidos, se encontró que la adición del aditivo plastificante mejoró significativamente la trabajabilidad del concreto, permitiendo una mejor manipulación y colocación. Además, aunque no observó un aumento en la resistencia a la compresión en las muestras de concreto con aditivo plastificante en comparación con las muestras sin aditivo, obteniendo 20.62 MPa sin aditivo y 19.25 MPa con aditivo. Esto sugiere que el uso de aditivos plastificantes puede ser beneficioso en la producción de geopolímeros a partir de residuos de concreto, permitiendo una mejor manipulación, aunque obteniendo un concreto ligeramente menos resistente. Concluyendo que para especímenes de GPC el superplastificante no aumenta la resistencia del concreto

geopolimérico a base de cenizas volantes. Sin embargo, mejora la trabajabilidad de las muestras de concreto. Para esto, se recomienda una mayor investigación sobre la aplicación de diferentes tipos de superplastificantes y otros materiales para mejorar la trabajabilidad del hormigón geopolimérico.

Como antecedentes nacionales, se consideró la investigación de Estrada y Mongue (2022), quienes tuvieron como objetivo central en su investigación de explorar las características de áridos de la cantera La Rinconada, evaluando la ineficiencia del impacto del aditivo plastificante SikaPlast 740 en el concreto de cemento y arena que incorpora estos agregados. Se empleó cemento TIPO I de la marca SOL. La investigación abarca tres mezclas estándar que carecen del aditivo, con proporciones variables de agua y cemento, junto con tres mezclas que incorporan SikaPlast 740. Estas proporciones son 0.92, 0.76 y 0.62 para ambos escenarios. Posteriormente, se evaluaron y compararon las propiedades mecánicas del concreto. Como resultados se obtuvieron las evaluaciones de los agregados revelando un módulo de finura notablemente bajo con un valor de 0.91, lo que lleva a requisitos de agua considerables en los diseños de mezcla. La aplicación del aditivo plastificante SikaPlast 740 dio como resultado una reducción del uso de cemento en un 14.42 % (1,37 bolsas), 13.70 % (1,50 bolsas) y 7.14 % (0,94 bolsas) para proporciones de 0.92, 0.76 y 0.62, respectivamente. Si bien hay una reducción en cemento y agua de amasado, la resistencia a la compresión a 28 días se ve afectada para proporciones de 0.92 y 0.76, disminuyendo en 17.86% y 13.68%. Por el contrario, un aumento de resistencia del 8.10% se ve reflejada empleando la proporción de 0.62.

Así mismo, Trujillo (2022) tuvo como objetivo principal de tesis el evaluar los impactos del agente reductor de agua y superplastificante de alto rango Neoplast 8500 HP sobre los atributos del concreto de cemento y arena producido con cemento portland tipo GU de la marca APU. El estudio involucra la preparación de concreto de cemento y arena con y sin el aditivo en varias proporciones de agua y cemento de niveles 0.68, 0.62 y 0.56. El aditivo se introdujo a una dosificación del 0.8% en peso del cemento. Las pruebas abarcaron evaluaciones de concreto fresco como asentamiento, peso unitario, contenido de aire atrapado, exudación y temperatura. En concreto endurecido, las pruebas se extendieron a resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. Y se realizó una comparación posterior entre las mezclas que contienen el aditivo y las que carecen de él (estándar). Como resultados destacaron los resultados favorables en los diseños que incorporan el aditivo en comparación con los que no lo tienen. En particular, los diseños con relaciones agua-cemento de 0.68, 0.62 y 0.56 muestran ahorros de cemento de 2.37,

3.34 y 2.59 sacos por metro cúbico, lo que se quiere decir en reducciones de 23.41 %, 29.27 % y 21.71 %, respectivamente. Los ahorros de costos para el concreto se estimaron en 29.05, 54.22 y 27.74 soles peruanos, respectivamente. En cuanto a la variación de la resistencia a la compresión, los resultados muestran un aumento del 5.48 % para el diseño 0.68, un aumento del 1.17 % para el 0.62 y una disminución del 2.44 % para el 0.56. Concluyendo que el aditivo Neoplast 8500 HP tiene una influencia positiva en los atributos del concreto cemento-arena. Reduciendo el uso de cemento y los costos de concreto sin comprometer sus propiedades mecánicas.

Finalmente, Salazar (2023) tuvo como objetivo de investigación de evaluar la influencia de aditivo plastificante en un mortero como una opción potencial para su aplicación en la restauración y mantenimiento de infraestructura civil. Para conseguirlo, se hizo una comparación entre un mortero infundido con aditivo plastificante y dos homólogos: un mortero estándar sin aditivos, y el mortero tradicional utilizado para este fin, que incluye un aditivo expansivo. Evaluando su la trabajabilidad, resistencia a la compresión y tracción, contracción y la adhesión. Las pruebas de adhesión se realizaron siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C1583. De igual forma, se realizó una comparación con morteros de reparación con aditivos expansivos apoyándose en la norma ISO 13007 de losa-lechada cerámica. Como resultados obtuvieron que la utilización de mortero enriquecido con el aditivo Plastificante Sika Cem (aditivo plastificante de la marca Sika empleado en esta investigación) a una concentración del 0.8% del peso del cemento surge como la opción más prometedora para la reparación. grietas, fisuras y problemas similares. El mortero incorporando un aditivo plastificante exhibió características que favorecen su aplicabilidad en la restauración de estructuras de concreto de menor envergadura. Logrando satisfacer los requisitos mínimos establecidos por la Norma UNE EN 1504-3. Encontrando los resultados dentro de dichos parámetros como una resistencia a la compresión mayor o igual a 15 MPa y una adherencia mayor igual a 0.8 MPa, aplicables a todos los diseños tras un período de 28 días.

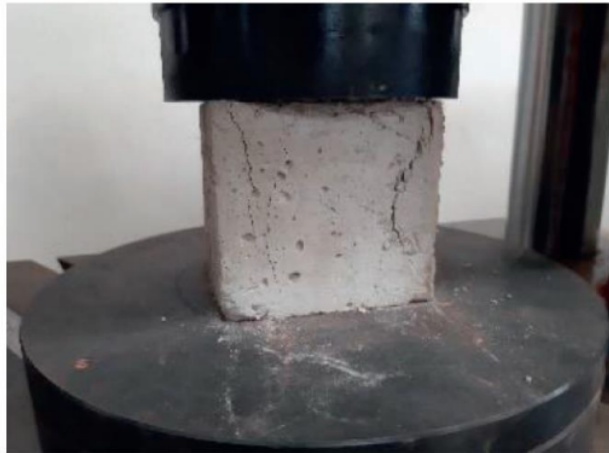
Como bases teóricas partimos desde el mortero de cemento, el cual, en el contexto de la construcción, se refiere a una mezcla elaborada a partir de una combinación específica de cemento, arena y agua. Este compuesto tiene la característica de transformarse en un material resistente y adherente después de un proceso de endurecimiento. Su utilización es fundamental en la industria de la construcción y la ingeniería civil, ya que proporciona la capacidad de unir elementos estructurales como ladrillos, bloques de concreto y piedras de manera cohesiva y duradera. Además de su



función como agente de unión, el mortero también se emplea para recubrir superficies y mejorar tanto su estética como su protección (Srinivasu, 2014).

### Figura 1

Montaje <sup>3</sup> del ensayo de resistencia a la compresión de un mortero de cemento (Danso, 2020)



Su clasificación es crucial para adaptar sus propiedades a las necesidades específicas de diversos proyectos constructivos. Una de las clasificaciones más comunes se basa en <sup>1</sup> la proporción de cemento, arena y agua en la mezcla. En este sentido, existen diversas proporciones que generan morteros con características distintas, desde una mayor resistencia a la compresión hasta una mayor adherencia. Por otro lado, se pueden encontrar tipos especializados de mortero, como el de fraguado rápido o el de alta resistencia, que se desarrollan para satisfacer requerimientos específicos de tiempo y rendimiento. Asimismo, los morteros pueden ser modificados mediante la adición de aditivos para mejorar cualidades como la flexibilidad, la impermeabilidad y la durabilidad (Salustio et al., 2022).

La importancia de un mortero de cemento parte desde el interior de la industria de la edificación. Esta masa cierra el espacio entre ladrillos y bloques, uniéndolos en un todo cohesivo que resiste las pruebas del tiempo y las presiones externas. Surgiendo como agente contra la entrada insidiosa de humedad y agua, protegiendo las estructuras de la corrosión y el deterioro potenciales. Más allá de su destreza funcional, el mortero de cemento da forma al paisaje arquitectónico al dotar a los edificios de solidez física y

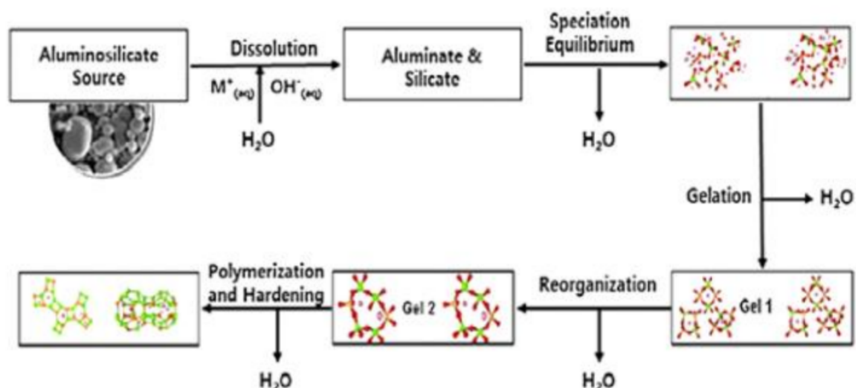
grandeza estética. Por otro lado, constituye la base sobre la que se construyen los principios de la construcción moderna, un puntal firme que salvaguarda la integridad de las creaciones arquitectónicas para las generaciones venideras (Salustio et al., 2022).

Este mortero de cemento, tiene una amplia gama de aplicaciones en la construcción y la industria. Se utiliza principalmente como material de unión en la construcción de mampostería y albañilería, permitiendo la adhesión y estabilidad de ladrillos, bloques y piedras. Además, es esencial en la creación de superficies uniformes en paredes y pisos, ya que se utiliza para nivelar y alisar superficies irregulares. También desempeña un papel crucial en la reparación y restauración de estructuras, sellando grietas y agujeros. En proyectos de albañilería decorativa, el mortero de cemento se utiliza para crear detalles arquitectónicos y ornamentales. Su versatilidad lo convierte en un componente esencial en la construcción moderna, brindando durabilidad y resistencia a diversas aplicaciones (Srinivasu, 2014).

Por su parte, la geopolimerización es un proceso progresivo y respetuoso con el medio ambiente en el que los polímeros inorgánicos, denominados geopolímeros, se sintetizan a través de una reacción química que involucra materiales de origen como subproductos industriales, minerales naturales o sustancias ricas en aluminosilicatos. Este método aprovecha los activadores alcalinos, generalmente basados en hidróxido de sodio o potasio, y precursores de silicio y aluminio para fomentar la creación de una estructura de red tridimensional compleja. Notablemente distintos de la producción de cemento convencional, los geopolímeros ofrecen una alternativa ecológica y sostenible, ya que pueden formular materiales resistentes y duraderos sin necesidad del uso de cemento Portland, que es conocido por su proceso de fabricación que consume mucha energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas (Burduhos, 2018).

**Figura 2**

*Etapas del proceso de geopolimerización (Burduhos, 2018)*



Estos materiales exhiben una gama de propiedades notables que los distinguen de los materiales tradicionales a base de cemento. Estos incluyen su excepcional resistencia mecánica, resistencia a la degradación química y formidable resistencia al fuego, características atribuidas en gran medida a su microestructura densa y compacta. Sorprendentemente, los geopolímeros contribuyen a reducir la huella de carbono en comparación con el cemento Portland, ya que su proceso de producción genera notablemente menos emisiones de dióxido de carbono. Además, la versatilidad de los geopolímeros se extiende a su capacidad de personalización, donde sus propiedades se pueden ajustar variando el tipo y la proporción de materiales de origen y activadores utilizados, lo que facilita la adaptación a diversas aplicaciones (Burduhos, 2018).

La importancia de los geopolímeros reside en su potencial para remodelar los sectores de la construcción y los materiales a un nivel fundamental. Su capacidad para reducir considerablemente el impacto ambiental se alinea a la perfección con el imperativo mundial de promover la sostenibilidad y reducir las emisiones de carbono. Al ofrecer un sustituto innovador del cemento tradicional, los geopolímeros contribuyen a los esfuerzos colectivos para mitigar los impactos del cambio climático y, al mismo tiempo, abordan las preocupaciones relacionadas con la escasez de recursos vitales relacionados con los materiales de construcción convencionales. Una faceta adicional de su importancia surge de su capacidad para aprovechar los materiales de desecho como

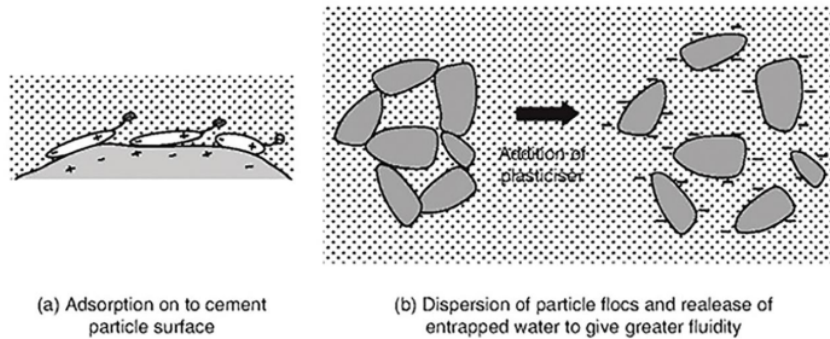
precursores, participando así en la minimización de desechos, la optimización de recursos y el avance de los principios de la economía circular (Burduhos, 2018).

El espectro de aplicaciones de los materiales de geopolímeros abarca una variedad de industrias y sectores. En el ámbito de la construcción, estos materiales se pueden aprovechar para crear concreto de alta resistencia, componentes prefabricados y elementos estructurales, todos fortalecidos por su robustez y resistencia frente a condiciones ambientales adversas. Los geopolímeros son una gran promesa en proyectos de infraestructura a gran escala, incluida la construcción de carreteras, puentes y edificios, donde su capacidad para soportar condiciones adversas los hace invaluable. Además, se prestan a la formulación de materiales refractarios diseñados para aplicaciones de alta temperatura en industrias como la metalúrgica. Más allá de esto, los geopolímeros juegan un papel fundamental en la inmovilización de desechos, encapsulando efectivamente sustancias peligrosas para evitar su diseminación al medio ambiente. Sorprendentemente, incluso encuentran relevancia en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural, ofreciendo un medio potente para restaurar y proteger las estructuras históricas respetando su integridad original (Burduhos, 2018).

Como otro concepto de suma importancia tenemos al aditivo plastificante para concreto, el cual es como una mezcla química fundamental <sup>4</sup> en el ámbito de los materiales de construcción. Posee la capacidad única de aumentar la trabajabilidad, las características de flujo y el rendimiento general de las mezclas de concreto. Este aditivo está meticulosamente formulado para navegar por el delicado equilibrio entre fluidez y resistencia en las composiciones de concreto. Al introducir plastificantes, se reduce la necesidad de una relación agua-cemento excesiva, lo que lleva a un resultado excepcional: la mejora de las propiedades de fluidez del concreto sin comprometer su resistencia o durabilidad máximas. El propósito fundamental de un plastificante es revolucionar las propiedades reológicas del concreto, fomentando no solo una mayor fluidez sino también minimizando desafíos como la segregación y facilitando una mejor colocación y compactación (Lateef, 2016).

**Figura 3**

*Representación esquemática de la acción de los aditivos plastificantes (Hilal, 2016)*



Sus propiedades radican en su notable capacidad para reducir la viscosidad de las mezclas de concreto al mismo tiempo que otorgan una multitud de propiedades deseables. Su mecanismo involucra la adsorción sobre la superficie de las partículas de cemento, una interacción que reduce efectivamente las fuerzas de atracción entre partículas, mitigando así la resistencia por fricción dentro de la mezcla. En consecuencia, la introducción de plastificantes se traduce en una mayor fluidez, una característica que simplifica todo el proceso de vertido, colocación y consolidación del concreto. Es imperativo reconocer que los plastificantes son exigentes en sus efectos, preservando meticulosamente el tiempo de fraguado del concreto y su resistencia final. Orquestan una convergencia armoniosa entre la trabajabilidad mejorada y el rendimiento constante (Dündar et al., 2022).

La importancia de los aditivos plastificantes en el ámbito de la tecnología del concreto se destaca por su papel transformador en la configuración tanto del proceso como del producto de la construcción. Ante todo, estos aditivos marcan el comienzo de una nueva era de capacidad de trabajo y cohesión del concreto, especialmente cuando se trata de escenarios complejos en los que las metodologías de mezcla convencionales pueden generar complicaciones como el sangrado y la segregación. Además, la integración estratégica de plastificantes facilita la reducción de la relación agua-cemento, un factor fundamental para fortalecer la resistencia y la durabilidad del concreto. La optimización meticulosa del diseño de la mezcla y la compactación, facilitada por los plastificantes, contribuye significativamente al desempeño duradero de las estructuras de

concreto, asegurando que resistan las pruebas del tiempo y los factores ambientales estresantes (Hrůza y Prošek, 2017).

Como aplicaciones tenemos que sirven como herramientas indispensables en la producción de concreto de alto rendimiento, concreto autocompactante y componentes prefabricados, donde no es negociable mantener una trabajabilidad y compactación constantes en medio de condiciones desafiantes. El ámbito del bombeo de concreto se beneficia de los plastificantes al mantener la integridad fluidica del concreto incluso a distancias considerables. En escenarios de fabricar concreto en climas fríos, donde las temperaturas pueden impedir los procesos normales de fraguado y curado, los plastificantes intervienen para mantener una trabajabilidad óptima. Además, el uso de plastificantes se alinea armoniosamente con los objetivos de sustentabilidad, facilitando una reducción en el uso de agua dentro de las mezclas de concreto y contribuyendo así a mejorar la calidad del concreto y minimizar el impacto ambiental (Dündar et al., 2022).

Por último, tenemos al concreto reciclado, el cual se define como una práctica transformadora dentro de la industria de la construcción, que abarca la reutilización y la readaptación de materiales de concreto <sup>63</sup> que han llegado al final de su vida útil inicial. Estos materiales, que pueden provenir de estructuras demolidas, carreteras u otros proyectos de construcción, se recolectan, procesan y reintroducen cuidadosamente en nuevos proyectos de construcción. Este enfoque sostenible no solo desvía los desechos de concreto de los vertederos superpoblados, sino que también disminuye la necesidad de agregados vírgenes, lo que reduce sustancialmente el impacto ambiental asociado con su extracción. La naturaleza versátil del concreto reciclado permite que se emplee como agregado en mezclas de concreto fresco o como material de relleno, fomentando un sistema de circuito cerrado que ejemplifica la conservación de recursos (Abdelfatah y Tabsh, 2011).

#### Figura 4

*Áridos de concreto reciclado: (a) Antes del ensayo de abrasión (b) Después del ensayo de abrasión (Aytekin y Mardani, 2022)*



Las propiedades inherentes al concreto reciclado son producto de factores multifacéticos, que van desde la calidad del concreto original hasta el grado de procesamiento realizado durante el reciclaje. En esencia, el concreto reciclado generalmente presenta atributos similares a los agregados naturales, incluida <sup>3</sup> la resistencia a la compresión y la durabilidad. Sin embargo, pueden surgir pequeñas variaciones en las propiedades debido a las diferentes composiciones de materiales y métodos de procesamiento. El procesamiento riguroso y las medidas meticulosas de control de calidad son fundamentales para garantizar que el concreto reciclado cumpla con las especificaciones exactas requeridas para su aplicación prevista. Además, dadas las ventajas ecológicas generales de utilizar materiales reciclados, cualquier discrepancia de propiedad marginal a menudo palidece en comparación con los beneficios ambientales obtenidos (Abdelfatah y Tabsh, 2011).

Su importancia resuena profundamente con su capacidad para hacer frente a los principales problemas ambientales y la escasez de recursos que enfrenta la industria de la construcción. Al reutilizar materiales que de otro modo contribuirían a aumentar los volúmenes de los vertederos, el concreto reciclado alivia significativamente la presión sobre los sistemas de gestión de residuos y, al mismo tiempo, frena el agotamiento de los recursos naturales finitos. Esta práctica se erige como una encarnación del concepto de economía circular, reinventando las sustancias desechadas como activos invaluable. Más allá de esto, la producción convencional de concreto a partir de agregados frescos requiere un gran consumo de energía y genera emisiones de carbono sustanciales, lo que hace que la integración de concreto reciclado sea una maniobra estratégica para mitigar la huella

ecológica de la industria y avanzar en una trayectoria sostenible para las prácticas de construcción (Martinez et al., 2015).

Las aplicaciones del concreto reciclado abarcan un amplio espectro en el panorama de los proyectos de construcción. Emerge como una opción frecuente para su inclusión como agregado en nuevas mezclas de concreto, reemplazando hábilmente una fracción de los agregados vírgenes tradicionales. Esta aplicación pragmática no solo conserva los recursos naturales, sino que también mantiene la integridad estructural inherente al concreto. Además, el concreto reciclado asume funciones como material base o de relleno en <sup>62</sup> la construcción de carreteras y diversos proyectos de ingeniería civil, mitigando así la demanda de extracción de nuevos materiales. Además, su utilidad se extiende a áreas como el control de la erosión, el paisajismo e incluso como capas fundamentales en proyectos de construcción novedosos. Esta versatilidad innata subraya su potencial para enriquecer varias facetas de la construcción sostenible y el dominio expansivo del desarrollo de infraestructura (Martinez et al., 2015).



## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Enfoque y tipo**

La investigación fue tipo aplicada, ya que se llevó a cabo con la intención de resolver problemas prácticos, investigando cómo influye el aditivo plastificante SikCem en las propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales resultantes. Los hallazgos de este estudio informaron el desarrollo de prácticas de construcción más sostenibles y efectivas al utilizar concreto reciclado y mejorar las propiedades de la mezcla de mortero.

También fue de tipo explicativa, ya que buscó comprender las relaciones que no están claras entre las variables y explicar por qué ocurren ciertos fenómenos, profundizando en los efectos del SikaCem sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de los morteros alcalinos. Al identificar y explicar estas relaciones, se contribuyó a una comprensión más profunda de los factores que influyen en el rendimiento de la mezcla de mortero.

Como también fue de enfoque cuantitativo, ya que implicó la recopilación y el análisis de datos numéricos para responder preguntas de la investigación y probar la hipótesis, recopilando datos a través de mediciones, pruebas y análisis para cuantificar los cambios en las propiedades físico-químicas y mecánicas como resultado de adiciones variables de aditivo. El uso de estos datos numéricos permitió sacar conclusiones estadísticamente significativas sobre los efectos del aditivo en la mezcla de mortero.

### **2.2. Diseño de Investigación**

En esta investigación se aplicó un diseño experimental. Implicando la asignación aleatoria de los elementos de estudio a diferentes grupos o condiciones de manera imparcial, con el objetivo de minimizar sesgos y permitir inferencias causales sólidas. Este enfoque permitió la manipulación de una variable independiente para observar su efecto sobre múltiples variables dependientes, siguiendo un riguroso control experimental para garantizar la validez interna de los resultados. Desarrollando así, un grupo de muestras patrón de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado intacto sin adiciones 0% y otro grupo experimental con incorporaciones de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de SikaCem-plastificante. Sometiendo a ambos grupos a los mismos ensayos de tipo experimental para evaluar sus propiedades físico-químicas y mecánicas en laboratorio.

### 2.3. Objeto de Estudio<sup>12</sup>

**Objeto de estudio:** El objeto de estudio de esta investigación estuvo conformado por todos los morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

**Población de estudio:** La población de esta investigación estuvo conformada por todos los morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con adición de aditivo plastificante.

**Muestra de estudio:** La muestra de esta investigación estuvo conformada por 75 especímenes de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de concreto reciclado con incorporación de porcentaje aditivo SikaCem-plastificante, de geometría cubica con dimensiones de 50\*50\*50mm. Esta contabilización de muestras se realizó mediante la siguiente formula:

#### **Matriz de diseño**

Nº total de especímenes = [(V. Independientes) \*(Niveles de estudio) \*(Réplicas)]  
+ especímenes patrón

Nº total de especímenes = (1\*4\*5) + 5 = 25

Nº total de especímenes = 25\*(Edades de ensayo)

Nº total de especímenes = 25\*(7,14 y 28 días)

Nº total de especímenes = 75

#### **Niveles de Estudio**

**GC:** 0% de aditivo SikaCem-plastificante

**a1:** 0.5% de aditivo SikaCem-plastificante

**a2:** 1.0% de aditivo SikaCem-plastificante

**a3:** 1.5% de aditivo SikaCem-plastificante

**a4:** 2% de aditivo SikaCem-plastificante

**Tabla 1**

*Niveles de estudio*

VARIABLE INDEPENDIENTE	NIVELES DE ESTUDIO
<b>Aditivo SikaCem-plastificante</b>	a1: 0.5%
	a2: 1.0%
	a3: 1.5%
	a4: 2%
VARIABLES DEPENDIENTES	
Esfuerzo de compresión (MPa)	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
Porosidad (%)	
Porcentaje de fases amorfas (%)	
3 Formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H	

**Variable independiente:** Porcentaje de aditivo SikaCem-plastificante

**Variables dependientes:**

- Esfuerzo de compresión en MPa
- Densidad en g/cm<sup>3</sup>
- Porosidad en %
- Porcentaje de fases amorfas en %
- 3 Formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H

**Tabla 2**

**Operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Instrumentos	Escala de medición
<b>Variable independiente</b> Porcentaje de SikaCem® Plastificante	<p>8 Es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales (Sika, 2021).</p>	<p>Medida de pesos durante el proceso de conformado</p>	<p>%wp = <math>(mp/ma) * 100</math></p> <p>%wp: Porcentaje en peso de plastificante (%) mp: masa de plastificante (g) ma: masa de aglomerante (g)</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%
<b>Variable dependiente</b> Esfuerzo de compresión	<p>10 La resistencia a la compresión se refiere a la capacidad de un determinado material o elemento estructural para soportar cargas que reducen el tamaño de ese material o elemento estructural cuando se aplica. Se aplica una fuerza a la parte superior e inferior de una muestra de prueba, hasta que la muestra se fractura o se deforma (Sabhadiya, 2022).</p>	<p>Registro de carga aplicada versus área de muestra en función del tiempo</p>	<p><math>\sigma = F/A</math></p> <p><math>\sigma</math>: Esfuerzo (MPa) F: Fuerza (N) A: Área (mm<sup>2</sup>)</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	MPa
<b>Variable dependiente</b> Densidad	<p>29 Es una medida de qué tan pesado es algo en comparación con su tamaño. La densidad es una propiedad característica de una sustancia y no depende de la cantidad de sustancia (ACS, s.f).</p>	<p>Registro unidad de masa sobre unidad de volumen de muestra</p>	<p><math>\rho = m/v</math></p> <p><math>\rho</math>: Densidad (g/cm<sup>3</sup>) m: Masa (g) v: Volumen (cm<sup>3</sup>)</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	g/cm <sup>3</sup>

<p><b>Variable dependiente</b> Porosidad</p>	<p>Es el porcentaje del volumen total de una roca o suelo que está ocupado por intersticios, ya sean aislados o conectados. Los materiales porosos pueden absorber fluidos o humedad, lo que provoca corrosión (GeologyHub, 2019).</p> <p>Es un sólido cuyos átomos no están en <b>42</b> patrón cristalino regular. La palabra amorfía proviene de la palabra griega <b>ámorphos</b>, que significa "sin forma" (Fore, 2020).</p>	<p><b>54</b></p> <p><math>P = ((pa - pr) / pa) * 100</math></p> <p>P: Porosidad (%) pa: Densidad aparente sin compactación (g/cm<sup>3</sup>) pr: Densidad real (g/cm<sup>3</sup>)</p>	<p>Registro del cociente del volumen de vacíos sobre volumen total de muestra</p>	<p>Formulario</p> <p>Nominal</p> <p>Fichas de observación</p> <p>%</p>
<p><b>Variable dependiente</b> Porcentaje de fases amorfas</p>	<p>Registro de porcentaje de fases de muestra</p>	<p>Registro fotográfico digital de porcentajes</p>	<p>Formulario</p> <p>Nominal</p> <p>Fichas de observación</p> <p>%</p>	
<p><b>Variable dependiente</b> Formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H</p>	<p>Es un tipo de material similar a un gel que se forma durante la hidratación de materiales cementosos, como los aluminosilicatos, en presencia de activadores alcalinos. Esta reacción es un proceso fundamental en el endurecimiento y fraguado de materiales cementosos (García et al., 2011).</p>	<p>Registro de transmitancia sobre número de onda de muestra</p> <p>Registro de diferencia de espectros IR</p>	<p>Formulario</p> <p>Nominal</p> <p>Fichas de observación</p> <p>Espectro FTIR</p>	

## 2.4. Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos

### 2.4.1. Instrumentos de recojo de datos

El instrumento que se empleó para el recojo de datos que se trabajaron en este estudio, fueron las fichas de observación directa, las cuales son herramientas utilizadas en la investigación y recolección de datos al observar situaciones, eventos o comportamientos en un entorno específico. A través de estas fichas, se registró de manera sistemática la información relevante obtenida durante la observación directa, lo que posteriormente facilitó la organización y análisis de los datos. Por lo general, estas fichas contienen categorías o campos predefinidos que el observador llena mientras examina el fenómeno en cuestión. Estas categorías pueden variar dependiendo del propósito de la observación y el contexto en el que se lleva a cabo. Ejemplos típicos de categorías presentes en las fichas de observación directa pueden ser: fecha y hora, descripción de la situación, participantes, comportamientos, comentarios, firma del observador, entre otros aspectos (Olmedo, s.f).

### 2.4.2. Técnicas de recojo de datos

En esta investigación, se desarrolló mucho la observación en tiempo real de todas las conductas, las interacciones, como también los fenómenos. Por lo cual, se decidió utilizar la técnica de observación directa para registrar los aspectos mencionados. Esta técnica implicó observar cuidadosamente a los objetos de estudio en su ambiente natural. El investigador registró lo que percibió, notó y escuchó, capturando detalles y patrones significativos sin modificar la dinámica que está estudiando (Cajal, 2020).

### 2.4.3. Equipos de laboratorio de recojo de datos

**Equipo para ensayos de compresión:** el cual fue requerido para someter las muestras de estudio a esfuerzos de compresión.

**Equipo de microscopía electrónica de barrido:** el cual fue requerido para someter las muestras a una caracterización de propiedades físicas como superficiales.

**Equipo de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier:** el cual fue requerido para someter las muestras a una caracterización de propiedades químicas.

## 2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

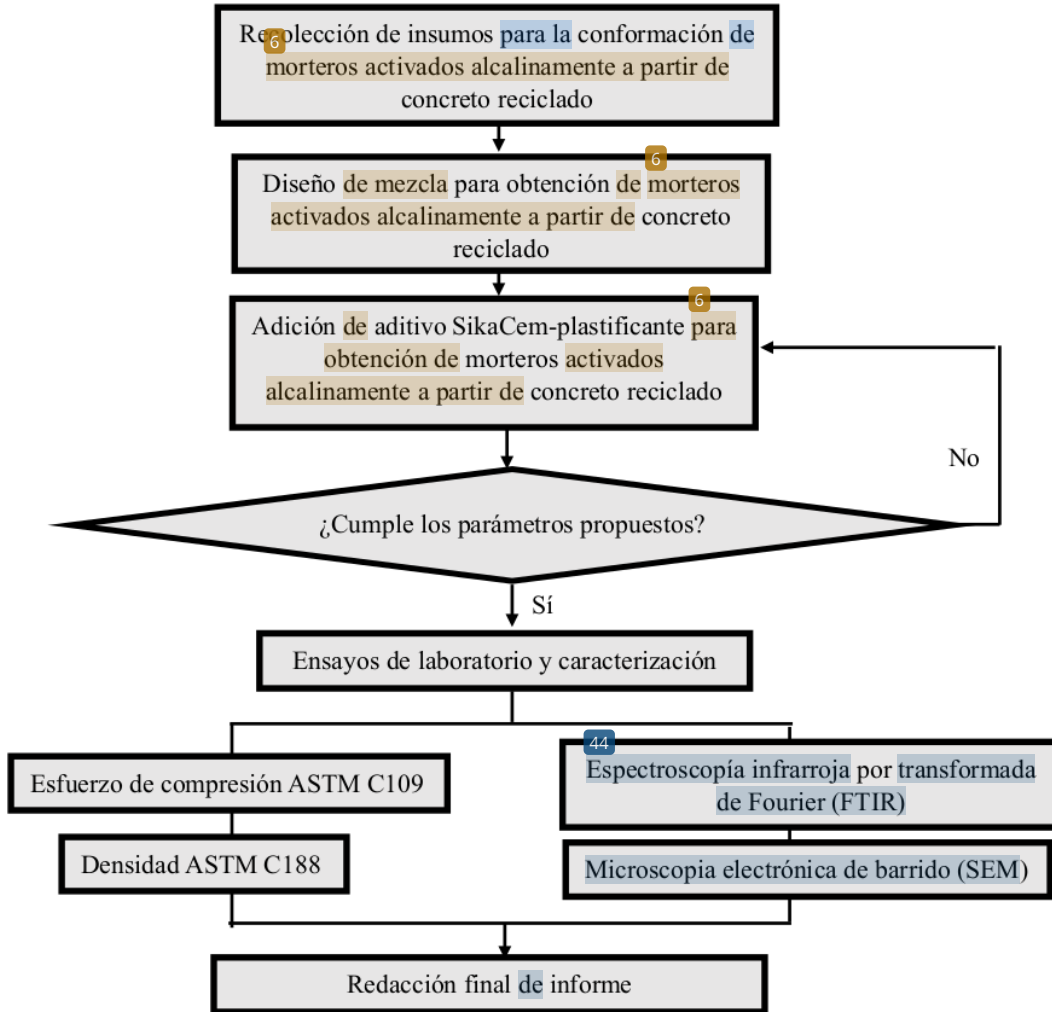
### 2.5.1. Técnicas de procesamiento

El procedimiento experimental se desglosó en los siguientes pasos:

- a. Primero se recolectaron todos los insumos <sup>5</sup> para la conformación de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado. Los cuales estuvieron conformados por: un material conglomerante pulverizado, concreto reciclado; agregados finos, arena gruesa; una solución alcalina de Hidróxido de Sodio 6M y un aditivo SikaCem-plastificante.
- b. Después, se realizó la fabricación de muestras siguiendo los parámetros en dimensiones de la norma ASTM C109. Considerando de igual forma otros parámetros de diseño de mezcla para morteros geopoliméricos de investigaciones previas como: una relación a/c de 0.45 y una relación conglomerante/agregado de 2/1 (v/v). Donde en este paso se mezcló el concreto reciclado con la arena gruesa de manera que ambos se integren homogéneamente.
- c. Luego se añadió la solución alcalina de Hidróxido de Sodio de concentración 6M a todas las muestras. Para luego realizar la adición del aditivo plastificante SikaCem en distintos niveles de estudio: 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%. Se consideró un tiempo de mezcla de 10 minutos por cada muestra. Las muestras se colocaron en sus moldes respectivos y dejaron curar por a 24 horas a temperatura ambiente. Después las muestras son ingresadas a una estufa por el tiempo de 72 horas a temperatura de 60°C. Para después poder ensayar a 7, 14 y 28 días de edad de curado final a temperatura ambiente.
- d. Una vez que las muestras ya pasaron por sus respectivas edades de ensayo, se llevaron a cabo los métodos de caracterización físico-químicos mediante microscopia electrónica de barrido SEM (porosidad y porcentaje de fases amorfas), la norma ASTM C188 (densidad) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier FTIR (formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H). Como también las pruebas mecánicas que son ensayos de tipo destructivo de forma aleatoria, con 05 repeticiones siguiendo la norma ASTM C109 para ensayo de compresión.
- e. Por último, <sup>4</sup> los resultados obtenidos se procesaron a través de un análisis estadístico de varianza para poder redactar el informe de la investigación que se desarrolló.

Figura 5

36  
Diagrama de flujo del procedimiento experimental



### 2.5.2. <sup>1</sup> Análisis de Datos

La comprobación de los datos adquiridos se realizó al registrar y estructurar de manera efectiva cada resultado obtenido durante el proceso experimental. En primera instancia, se anotaron los resultados iniciales de forma manual mediante fichas. Posteriormente, se evaluaron estos resultados utilizando herramientas de software de hojas



de cálculo que provee Google. Para luego aplicar el método de Análisis de Varianza unidireccional ANOVA, y así poder validar la similitud entre los conjuntos de grupos bajo investigación.

## **2.6. Aspectos éticos en investigación**

### **2.6.1. Uso Responsable de Recursos**

La investigación consume recursos, ya sea tiempo, dinero, personal o materiales. Utilizar estos recursos de manera responsable garantiza que se maximice su valor y se evite el derroche, lo que es especialmente importante en un contexto de recursos limitados (Fleming y Zegwaard, 2018).

### **2.6.2. Citas y Reconocimiento de Fuentes**

Citando las fuentes adecuadamente, se demuestra respeto por el trabajo previo y se evita el plagio. Reconocer a los autores originales contribuye a la colaboración y al progreso colectivo del conocimiento científico (Fleming y Zegwaard, 2018).

### **2.6.3. Respeto por los Derechos de los Participantes**

Los participantes de un estudio son individuos con derechos y dignidad. El respeto por sus derechos incluye obtener su consentimiento informado antes de su participación, explicar claramente los objetivos del estudio y cómo se utilizarán sus datos, y garantizar su anonimato y confidencialidad (Fleming y Zegwaard, 2018).

### **2.6.4. Equidad y Justicia**

La equidad y la justicia se refieren a la imparcialidad en la selección y el trato de los participantes. Esto significa que los criterios de inclusión deben ser claros y justos, y que cualquier forma de discriminación basada en género, raza, origen étnico u otros factores debe evitarse (Fleming y Zegwaard, 2018).

### **2.6.5. Honestidad y Transparencia**

La honestidad implica presentar los datos y resultados tal como son, sin alterarlos ni manipularlos para respaldar ciertas conclusiones. La transparencia se refiere a la apertura en cuanto a los métodos utilizados, permitiendo que otros puedan replicar y validar los resultados. Sin honestidad y transparencia, la confianza en la investigación y en la comunidad científica se debilita (Fleming y Zegwaard, 2018).

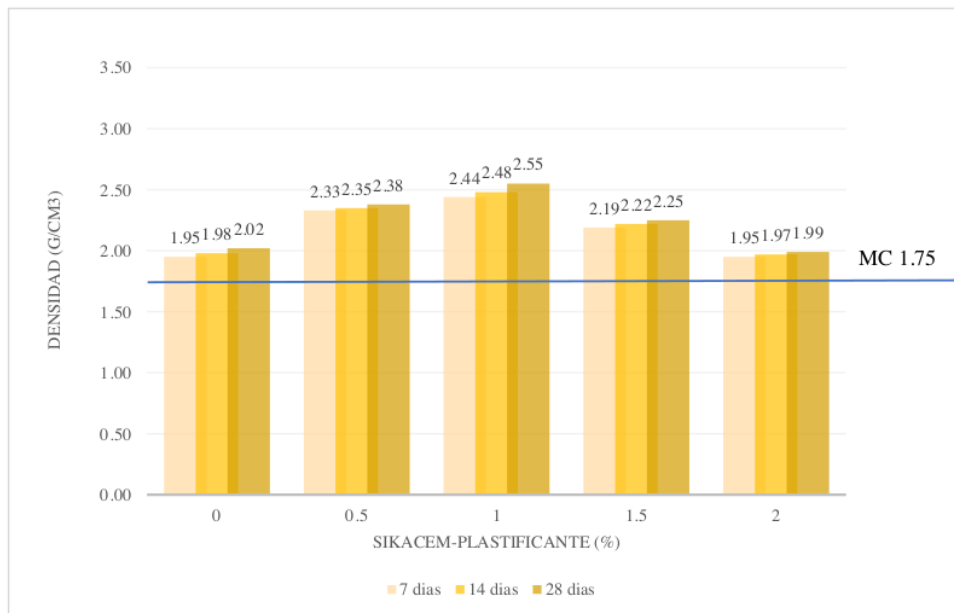
### 8 III. RESULTADOS

#### 3.1. Descripción de resultados

##### 3.1.1. Densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Figura 6

5 Resultados de densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante



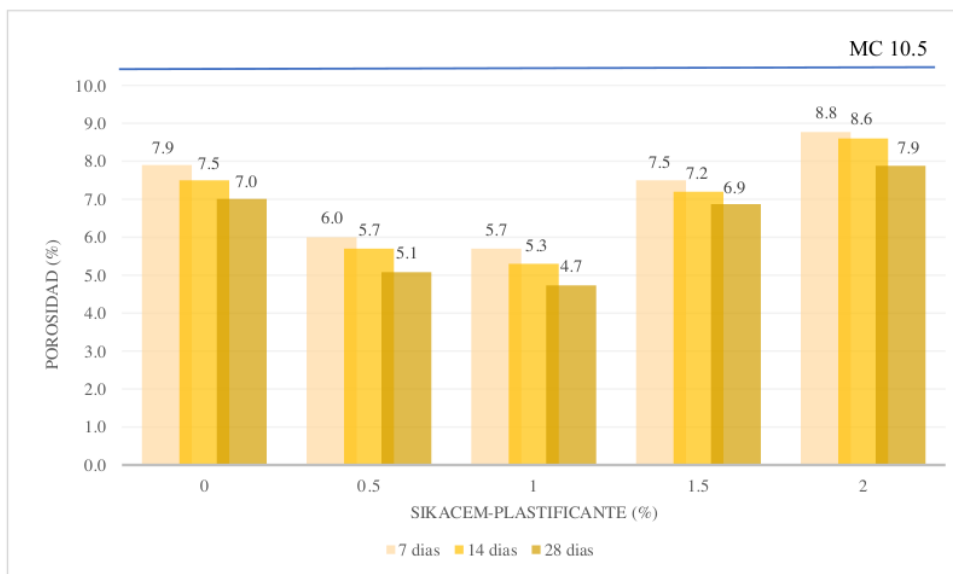
3 La figura mostrada representa la evolución de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-plastificante utilizado. En el eje x se encontramos el rango de porcentajes de Sikacem-plastificante, que varía en 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2%. Por otro lado, en el eje y se muestra la densidad de los morteros en unidades de gramo por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) encontrada por cada uno de los niveles mencionados. La figura también incluye datos de las edades de ensayo de 7, 14 y 28 días para evaluar dicha propiedad a lo largo del tiempo. También se incluyó un valor de referencia de un mortero de cemento convencional a 28 días, representado por MC en una recta trazada horizontalmente. Primero, notamos que los resultados muestran una tendencia positiva en la evolución de la densidad desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, lo que sugiere una mejora en la densidad a medida que

aumenta la cantidad de plastificante. Llegando a obtener la máxima densidad de  $2.55 \text{ g/cm}^3$  a 28 días de edad en el nivel 1%. Sin embargo, después de este nivel, se observa una disminución en la densidad, indicando que a porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la densidad de los morteros. Logrando una mínima densidad de  $1.99 \text{ g/cm}^3$  a 28 días de edad en el nivel 2%. Otro punto a rescatar del gráfico, es la evolución de la densidad a través de la edad de ensayo. Teniendo una tendencia positiva a lo largo del tiempo, independientemente de la tendencia de densidad por nivel de estudio. Al igual que, notamos la gran diferencia entre el valor de un mortero de cemento convencional y un mortero geopolimérico a 28 días, siendo  $1.75 \text{ g/cm}^3$  y  $2.02 \text{ g/cm}^3$  respectivamente. Quedando claro que, al tener resultados tan distantes entre ellos, no se puede considerar de forma comparativa con los niveles de estudio. Mas solo una referencia.

### 3.1.2. Porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Figura 7

Resultados de porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante



La figura mostrada representa la evolución de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-

plastificante utilizado. En el eje x se encontramos el rango de porcentajes de Sikacem-plastificante, que varía en 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. Por otro lado, en el eje y se muestra la porosidad de los morteros en unidades de porcentaje (%) encontrada por cada uno de los niveles mencionados. La figura también incluye datos de las edades de ensayo de 7, 14 y 28 días para evaluar dicha propiedad a lo largo del tiempo. También se incluyó un valor de referencia de un mortero de cemento convencional a 28 días, representado por MC en una recta trazada horizontalmente. Primero, notamos que los resultados muestran una tendencia negativa en la evolución de la porosidad desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, lo que sugiere una mejora en la porosidad <sup>13</sup> a medida que aumenta la cantidad de plastificante. Llegando a obtener la mínima porosidad de 4.7% a 28 días de edad en el nivel 1%. Sin embargo, después de este nivel, se observa un aumento en la porosidad, indicando que a porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la porosidad de los morteros. Logrando una máxima porosidad de 7.9 % a 28 días de edad en el nivel 2%. Otro punto a rescatar del gráfico, es la evolución de la porosidad a través de la edad de ensayo. Teniendo una tendencia negativa a lo largo del tiempo, independientemente de la tendencia de porosidad por nivel de estudio. Al igual que, notamos la gran diferencia entre el valor de un mortero de cemento convencional y un mortero geopolimérico con máxima porosidad a 28 días, siendo 10.5% y 7.9% respectivamente. Quedando claro que, al tener resultados tan distantes entre ellos, no se puede considerar de forma comparativa con los niveles de estudio. Mas solo una referencia.

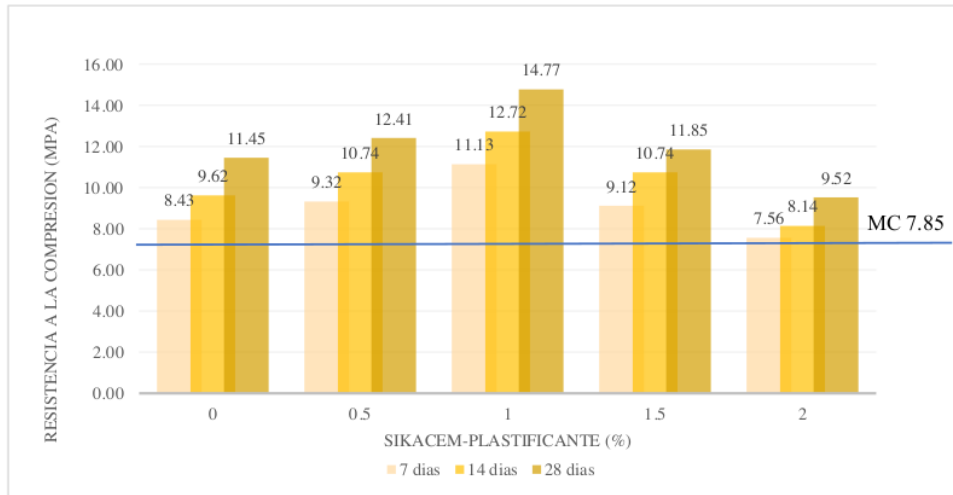
17

### 3.1.3. Resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

**Figura 8**

6

Resultados de resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante



6

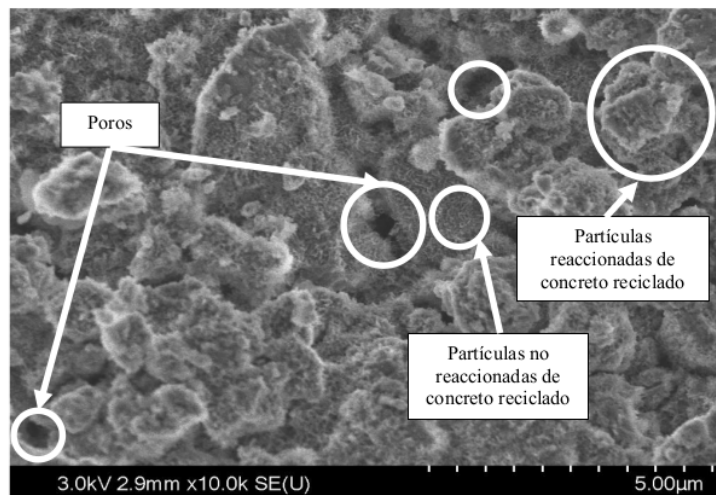
La figura mostrada representa la evolución de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-plastificante utilizado. En el eje x se encontramos el rango de porcentajes de Sikacem-plastificante, que varía en 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. Por otro lado, en el eje y se muestra la resistencia a la compresión de los morteros en unidades de mega pascales (MPa) encontrada por cada uno de los niveles mencionados. La figura también incluye datos de las edades de ensayo de 7, 14 y 28 días para evaluar dicha propiedad a lo largo del tiempo. También se incluyó un valor de referencia de un mortero de cemento convencional a 28 días, representado por MC en una recta trazada horizontalmente. Notamos que los resultados muestran una tendencia positiva en la evolución de la resistencia desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, lo que sugiere una mejora en la dicha propiedad mecánica a medida que aumenta la cantidad de plastificante. Llegando a obtener la máxima resistencia a la compresión de 14.77 MPa a 28 días de edad en el nivel 1%. Sin embargo, después de este nivel, se observa una disminución en la propiedad mecánica, indicando que a

porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la resistencia a la compresión de los morteros. Logrando una mínima resistencia de 9.52 MPa a 28 días de edad en el nivel 2%. Otro punto a rescatar del gráfico, es la evolución de la propiedad mecánica a través de la edad de ensayo. Teniendo una tendencia positiva a lo largo del tiempo, independientemente de la tendencia de resistencia a la compresión por nivel de estudio. Al igual que, notamos la gran diferencia entre el valor de un mortero de cemento convencional y un mortero geopolimérico con mínima resistencia a 28 días, siendo 7.85MPa y 9.52MPa respectivamente. Quedando claro que, al tener resultados tan distantes entre ellos, no se puede considerar de forma comparativa con los niveles de estudio. Mas solo una referencia.

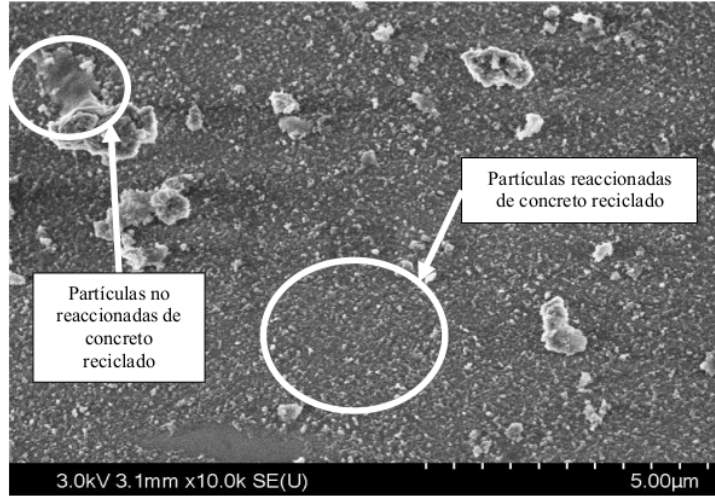
#### 3.1.4. Porcentaje de fases amorfas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Figura 9

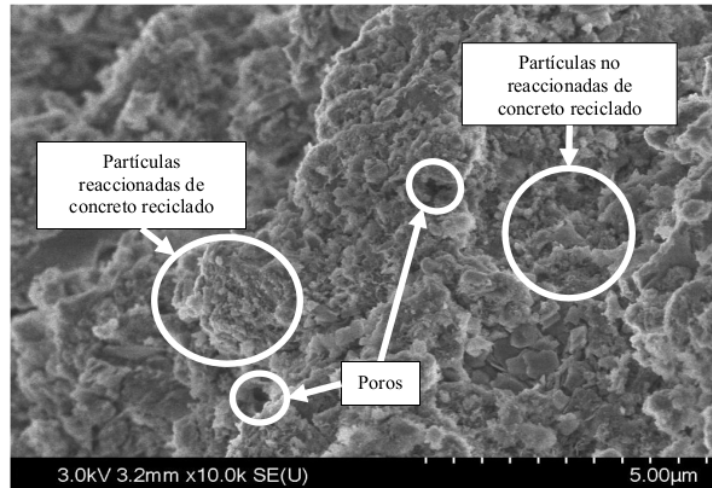
Imágenes de microscopía SEM de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a edad de 28 días: (a) 0.5%SP, (b) 1.0%SP, (c) 1.5%SP y (d) 2.0%SP



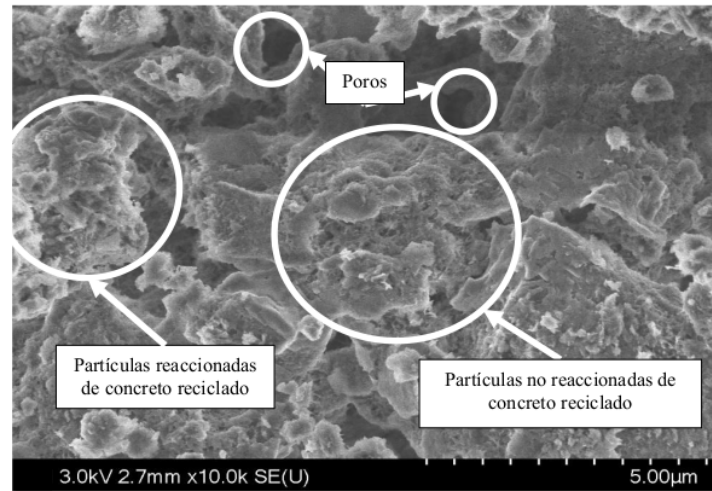
(a)



(b)



(c)



(d)

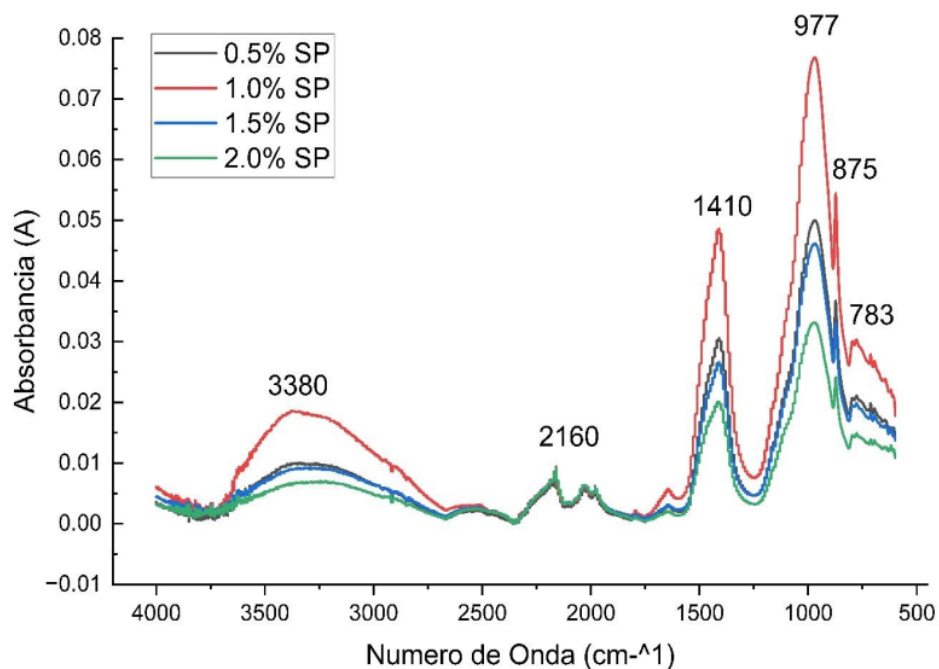
La figura mostrada presenta cuatro microfotografías con un aumento de  $5\mu\text{m}$ , lo que nos permite obtener una visión detallada de la microestructura de los morteros, para analizar los efectos de distintos porcentajes de Sikacem-plastificante en los morteros activados alcalinamente a la edad de 28 días. (a) 0.5%SP: En esta imagen, correspondiente al mortero activado alcalinamente con un 0.5% de Sikacem-plastificante, se aprecian notables poros en la microestructura. La mayoría de las superficies son suaves y de un tono oscuro, sin embargo, es importante resaltar la presencia de algunas superficies rugosas de color blanquecino en minoría, creando un contraste distintivo. Cabe resaltar que el método de caracterización indicó que el 57% de la microestructura se compone de fases amorfas. (b) 1.0%SP: En la segunda imagen, con un porcentaje de adición de Sikacem-plastificante del 1.0%, sobresale la completa ausencia de poros en la microestructura. La mayoría de las superficies se presentan extremadamente rugosas, creando una superficie compacta sin defectos, con solo unas pocas superficies lisas de color oscuro. Cabe resaltar que el método de caracterización indicó que el 10% de la microestructura se compone de fases amorfas. (c) 1.5%SP: En la tercera imagen, con un 1.5% de Sikacem-plastificante, se vuelve a destacar la presencia de poros en la microestructura. Además, se encuentran algunas superficies lisas de color oscuro, pero la característica dominante es la presencia de numerosas superficies rugosas con una textura cavernosa que predomina en la imagen. Cabe resaltar que el método de caracterización indicó que el 27% de la microestructura se compone de fases amorfas. (d) 2.0%SP: En la última imagen, con un porcentaje de adición de Sikacem-plastificante del 2.0%, se observa nuevamente la presencia de poros, los cuales son más grandes en comparación con las imágenes anteriores. Varias superficies son lisas y de un color oscuro, pero predominan las superficies rugosas con una textura cavernosa de color blanquecino, creando un contraste aún más llamativo. Cabe resaltar que el método de caracterización indicó que el 47% de la microestructura se compone de fases amorfas.



### 3.1.5. Formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H <sup>5</sup> de morteros activados alcalinamente a partir de <sup>6</sup> concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

**Figura 10**

*Espectros FTIR de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante*



En la figura presentada, muestra los espectros FTIR <sup>6</sup> (Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier) <sup>6</sup> de morteros activados alcalinamente a partir de <sup>6</sup> concreto reciclado, con influencia del porcentaje de Sikacem-plastificante. Los cuales nos serán útiles para analizar la formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H. En este gráfico, los ejes representan la intensidad de la absorción de la radiación infrarroja (eje vertical y), absorbancia en unidades A, frente al número de onda (eje horizontal x) en unidades cm<sup>-1</sup>. El número de onda es una medida de la frecuencia de vibración de los enlaces químicos en la muestra. Por lo general, en un espectro FTIR, el número de onda varía desde aproximadamente 400 cm<sup>-1</sup>

hasta  $4000\text{ cm}^{-1}$ . Mientras que el eje vertical del espectro FTIR muestra la intensidad de absorción de la radiación infrarroja por parte de la muestra. La intensidad de absorción está relacionada con la cantidad de energía absorbida por los enlaces químicos en función de su frecuencia de vibración. Cuanto más fuerte sea la absorción en un punto específico del espectro, mayor será la intensidad en ese punto del gráfico. En nuestro espectro FTIR de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia del porcentaje de Sikacem-plastificante, podemos ver distintos picos característicos que corresponden a diferentes enlaces químicos presentes en la muestra. Algunos de ellos son:  $3380\text{ cm}^{-1}$ ,  $2160\text{ cm}^{-1}$ ,  $1410\text{ cm}^{-1}$ ,  $977\text{ cm}^{-1}$ ,  $875\text{ cm}^{-1}$  y  $783\text{ cm}^{-1}$ . También apreciamos que el nivel 1% posee la mayor intensidad de absorción de energía, seguida del nivel 0.5%, luego 1.5%, y por último el nivel 2%, con el espectro de menor intensidad de absorción de energía.

### 3.2. Prueba de hipótesis

#### 3.2.1. Densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Figura 11

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días

##### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	9.73	1.946	0.00378
_0.5%	5	11.63	2.326	0.00578
_1%	5	12.22	2.444	0.00398
_1.5%	5	10.93	2.186	0.00443
_2%	5	9.75	1.95	0.0031

##### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.991216	4	0.247804	58.8049359	8.92182E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.08428	20	0.004214			
Total	1.075496	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la densidad de los morteros a los 7 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. El valor F obtenido en el análisis de varianza es una estadística que indica si las diferencias observadas entre los grupos (diferentes porcentajes de plastificante) son estadísticamente significativas. Este valor F se compara con el valor crítico de F (F crítico), que se calcula en función del nivel de confianza y los grados de libertad. En este caso se trabajó a un nivel de confianza del 95%, lo que corresponde a un alfa ( $\alpha$ ) de 0.05. Si el valor F obtenido es mayor que el valor F crítico, significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas, lo que sugiere que al menos un grupo tiene una media significativamente diferente de los demás.

Esto es lo que se busca en una prueba de hipótesis de ANOVA. El valor p, por otro lado, representa la probabilidad de obtener un valor de F igual o más extremo que el valor observado bajo la suposición de que hay diferencias significativas entre los grupos (hipótesis planteada). Si el valor p es menor que el nivel de significancia (alfa, en este caso, 0.05), se acepta la hipótesis planteada, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos. Entonces, en este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 58.80 mayor que el valor F crítico 2.87, indica que hay diferencias significativas. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor p de  $8.92 \times 10^{-11}$ , el cual es menor al alfa 0.05, aceptamos la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la densidad de los morteros a los 7 días de ensayo.

### Figura 12

*Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días*

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	9.9	1.98	0.00085
_0.5%	5	11.75	2.35	0.00265
_1%	5	12.42	2.484	0.00128
_1.5%	5	11.1	2.22	0.0014
_2%	5	9.85	1.97	0.00365

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.024264	4	0.256066	130.247202	5.0695E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	0.03932	20	0.001966			
Total	1.063584	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la densidad de los morteros a los 14 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 130.25 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor p de  $5.07 \times 10^{-14}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la densidad de los morteros a los 14 días de ensayo.

### Figura 13

*Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días*

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	10.11	2.022	0.00432
_0.5%	5	11.89	2.378	0.00077
_1%	5	12.74	2.548	0.00067
_1.5%	5	11.23	2.246	0.00058
_2%	5	9.97	1.994	0.01933

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.109776	4	0.277444	54.0405142	1.92663E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	0.10268	20	0.005134			
Total	1.212456	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la densidad de los morteros a los 28 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero

comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 54.04 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $1.93 \times 10^{-10}$  el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la densidad de los morteros a los 28 días de ensayo.

### 3.2.2. Porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

27  
Figura 14

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días

RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
_0%	5	39.53	7.906	0.40628	
_0.5%	5	30.09	6.018	0.41997	
_1%	5	28.58	5.716	0.21173	
_1.5%	5	37.68	7.536	0.19028	
_2%	5	43.95	8.79	0.077	

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	33.692904	4	8.423226	32.266468	1.82566E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	5.22104	20	0.261052			
Total	38.913944	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la porosidad de los morteros a los 7 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero

comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 32.27 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $1.82 \times 10^{-8}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la porosidad de los morteros a los 7 días de ensayo.

### Figura 15

*Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días*

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	37.63	7.526	0.51988
_0.5%	5	28.61	5.722	0.37542
_1%	5	26.33	5.266	0.30728
_1.5%	5	36.14	7.228	0.10392
_2%	5	42.8	8.56	0.263

#### ANÁLISIS

DE

#### VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36.524296	4	9.131074	29.089118	4.39323E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	6.278	20	0.3139			
Total	42.802296	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la porosidad de los morteros a los 14 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 29.09 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad

de  $4.39 \times 10^{-8}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la porosidad de los morteros a los 14 días de ensayo.

### Figura 16

*Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días*

#### RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	35.1	7.02	0.142
_0.5%	5	25.6	5.12	0.117
_1%	5	23.3	4.66	0.093
_1.5%	5	34.4	6.88	0.222
_2%	5	39.5	7.9	0.06

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	37.4776	4	9.3694	73.891167	1.08402E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	2.536	20	0.1268			
Total	40.0136	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la porosidad de los morteros a los 28 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 73.89 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $1.08 \times 10^{-11}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas.



Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la porosidad de los morteros a los 28 días de ensayo.

3.2.3. **Resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante**

**Figura 17**

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	42.17	8.434	0.39768
_0.5%	5	46.59	9.318	0.28992
_1%	5	55.65	11.13	0.12825
_1.5%	5	45.58	9.116	0.34613
_2%	5	37.79	7.558	0.16127

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	34.946864	4	8.736716	33.012341	1.50154E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	5.293	20	0.26465			
Total	40.239864	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión de los morteros a los 28 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 33.01 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $1.50 \times 10^{-8}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la

hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la resistencia a la compresión de los morteros a los 7 días de ensayo.

**Figura 18**

Prueba de hipótesis de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	48.1	9.62	0.5371
_0.5%	5	53.69	10.738	0.57107
_1%	5	63.6	12.72	0.34515
_1.5%	5	53.72	10.744	0.10513
_2%	5	40.7	8.14	0.3201

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	56.653456	4	14.163364	37.6975966	4.76622E-09	2.8660814
Dentro de los grupos	7.5142	20	0.37571			
Total	64.167656	24				

En esta figura, se lleva a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión de los morteros a los 14 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 37.70 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $4.77 \times 10^{-9}$ , el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa que las diferencias entre los grupos son estadísticamente

significativas. Concluyendo <sup>13</sup> que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la resistencia a la compresión de los morteros a los 14 días de ensayo.

### Figura 19

Prueba de hipótesis <sup>1</sup> de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	57.25	11.45	0.264
_0.5%	5	62.04	12.408	0.72652
_1%	5	73.86	14.772	0.33247
_1.5%	5	59.26	11.852	0.19117
_2%	5	47.61	9.522	0.28892

### ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	71.576664	4	17.894166	49.621109	4.16633E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	7.21232	20	0.360616			
Total	78.788984	24				

En esta figura, se lleva a cabo <sup>4</sup> un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existen <sup>2</sup> diferencias significativas en la resistencia a la compresión de los morteros a los 28 días de ensayo, en función de diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante. En este análisis, primero comparamos el valor F obtenido con el valor F crítico. Siendo F 49.62 mayor que el valor F crítico 2.87, entonces se indica que hay diferencias significativas en los grupos. Luego, comparamos el valor p con el nivel de significancia (alfa). Teniendo un valor de probabilidad de  $4.17 \times 10^{-10}$ , <sup>9</sup> el cual es menor al alfa 0.05, entonces se acepta la hipótesis planteada, lo que significa <sup>13</sup> que las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas. Concluyendo que el porcentaje de Sikacem-plastificante influye significativamente en la resistencia a la compresión de los morteros a los 28 días de ensayo.

#### 3.2.4. Porcentaje de fases amorfas <sup>5</sup> de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

En el análisis de fases amorfas en este contexto, no es pertinente <sup>23</sup> llevar a cabo una prueba de hipótesis. Esto se debe a <sup>23</sup> que no disponemos de datos cuantitativos que puedan someterse a un análisis estadístico. En este caso, el análisis se efectuó exclusivamente de manera cualitativa, basándonos en la descripción de imágenes microscópicas y estimaciones aproximadas de porcentajes a partir de las mismas. Por consiguiente, no tendría sentido realizar una prueba de hipótesis en estas circunstancias.

#### 3.2.5. Formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

En relación al estudio de la formación de geles N-A-S-H y C-A-S-H, la aplicación de una prueba de hipótesis resulta inapropiada en esta situación específica. Esto se debe a la carencia de datos cuantitativos que sean susceptibles de análisis estadístico. En lugar de ello, el análisis se ha enfocado de manera cualitativa, centrándose en la descripción de espectros FTIR y en la identificación de diferencias en los picos correspondientes a los grupos funcionales químicos. Por consiguiente, la realización de una prueba de hipótesis no resulta pertinente en este contexto.

#### IV. DISCUSIÓN

- En la figura 6 se representó <sup>3</sup> la evolución de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-plastificante utilizado. Donde, los resultados mostraron una tendencia positiva en la evolución de la densidad desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, lo que sugirió una mejora en la densidad a medida que aumenta la cantidad de plastificante. Esto quiere decir que cuando se agrega el plastificante en una concentración baja (0.5% a 1%), ayuda a mejorar la trabajabilidad de la mezcla, lo que significa que la mezcla se vuelve más fácil de compactar. Esto puede llevar a una mayor densidad debido a una mejor compactación de los materiales (Memon et al., 2012). Sin embargo, después del nivel 1%, se observó una disminución en la densidad, indicando que a porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la densidad de los morteros. Esto indica que es posible alcanzar un punto (1% a 2% o más) en el que se añade un exceso de plastificante a la mezcla. Esto resulta en una reducción de la cohesión entre las partículas de agregado y una menor <sup>4</sup> capacidad de retención de agua, lo que a su vez puede disminuir la densidad de la mezcla. Asimismo, al tener un exceso de plastificante en la mezcla puede atraparse aire en ella, lo cual reduce la densidad aparente de la mezcla (Sathonsaowaphak et al., 2009). Otro punto a rescatar del gráfico, es la evolución de la densidad a través de la edad de ensayo. Teniendo una tendencia positiva a lo largo del tiempo, independientemente de la tendencia de densidad por nivel de estudio. Esto se debe a procesos naturales de compactación, consolidación y curado que ocurren en el material geopolimérico, independientemente de las variaciones por niveles de estudio (Gupta et al., 2020).
- Asimismo, en la figura 7 se presentó <sup>3</sup> la evolución de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-plastificante utilizado. En la que los resultados mostraron una tendencia negativa en la evolución de la porosidad desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, lo que sugirió una mejora en la porosidad <sup>35</sup> a medida que aumenta la cantidad de plastificante. Esto se debe a que al agregar el aditivo plastificante en dichos porcentajes ayuda a mejorar la compactación de las mezclas al reducir la cantidad de agua necesaria para mantener la trabajabilidad. Esto puede provocar una reducción en la porosidad inicial, ya que se necesita menos agua, lo que a su vez significa que hay menos espacios vacíos en la mezcla

(Anaszewicz, 2021). No obstante, después del nivel 1%, se notó un aumento en la porosidad, indicando que a porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la dicha propiedad de los morteros. Esto es debido a que la mezcla se encuentra en exceso de plastificante. Dicho exceso de plastificante puede resultar en una pérdida de cohesión entre las partículas de agregado y en una menor retención de agua en la mezcla, lo que puede aumentar la porosidad debido a la falta de una adecuada cantidad de agua para hidratar y compactar las partículas (Carabba et al, 2016). Por otro lado, la evolución de la porosidad a través de la edad de ensayo tuvo una tendencia negativa, independientemente de la tendencia de porosidad por nivel de estudio. Esto se debe a los procesos de compactación, consolidación y curado que ocurren en la muestra geopolimérica, independientemente de las variaciones por niveles de estudio (Gupta et al, 2020).

- En la figura 9, se presentó cuatro microfotografías con un aumento de 5µm para analizar los efectos de distintos porcentajes de Sikacem-plastificante en los morteros activados alcalinamente a la edad de 28 días. En la primera imagen (a) 0.5%SP, correspondiente al mortero activado alcalinamente con un 0.5% de Sikacem-plastificante, se evidenció porosidad presente en esta micrografía. Esto es esencial porque resalta el impacto de un bajo porcentaje de Sikacem-plastificante en la formación de poros en la estructura del mortero. Estos poros pueden ser áreas de debilidad en el material y afectar la resistencia y durabilidad. También se evidenciaron superficies lisas y rugosas en contraste. Al mencionar las superficies lisas y rugosas en diferentes tonos, se pone en conocimiento la heterogeneidad de la microestructura, lo que es relevante para comprender cómo varía la textura superficial con un 0.5% de aditivo. Siendo las superficies lisas partículas no reaccionadas de concreto reciclado, ya que el método de caracterización indicó que el 57% de la microestructura se compone de fases amorfas. Y las superficies rugosas, partículas reaccionadas de concreto reciclado. En la segunda imagen (b) 1.0%SP, con un porcentaje de adición de Sikacem-plastificante del 1.0%. Se presentó la ausencia de poros, lo cual es un hallazgo clave. Esto resalta el impacto positivo de un mayor porcentaje de Sikacem-plastificante en la reducción de la porosidad y la creación de una microestructura más compacta y resistente. Como también una superficie extremadamente rugosa, enfatizando en casi del total de superficie. Esto destaca cómo un 1.0% de aditivo contribuye a una microestructura notablemente más texturizada. Logrando obtener la mayoría de partículas de concreto reciclado reaccionadas. Cabe

resaltar que el método de caracterización indicó que el 10% de la microestructura se compone de fases amorfas, lo que se vio reflejado en aquellas partículas no reaccionadas de concreto reciclado. (c) 1.5%SP: En la tercera imagen, con un 1.5% de Sikacem-plastificante. Se encontró la presencia de poros continuada, esta descripción subraya que, incluso con un mayor porcentaje de aditivo (1.5% de Sikacem-plastificante), la porosidad reaparece en la microestructura. Esto muestra que existe un punto medio entre a los niveles de adición de aditivo y las propiedades de compactación. También se encontraron texturas cavernosas. La mención de una textura cavernosa en muchas superficies destaca la complejidad de la microestructura a este nivel de adición de aditivo. Cabe resaltar que el método de caracterización indicó que el 27% de la microestructura se compone de fases amorfas, lo que se vio reflejado en aquellas regiones lisas de partículas no reaccionadas de concreto reciclado. (d) 2.0%SP: En la última imagen, con un porcentaje de adición de Sikacem-plastificante del 2.0%, se observó nuevamente la presencia de poros, los cuales son más grandes en comparación con las imágenes anteriores. Esto sugiere que, con un 2.0% de Sikacem-plastificante, se ha logrado un aumento de la porosidad en comparación con (a) y (c), implicando áreas de debilidad. Varias superficies fueron lisas y de un color oscuro, esto demostró la presencia de partículas sin reaccionar de concreto reciclado. Coincidiendo con la información que el método SEM indicó, que el 47% de la microestructura se compone de fases amorfas. Sin embargo, predominaron las superficies rugosas con una textura cavernosa de color blanquecino, creando un contraste aún más llamativo. Estas superficies vienen a ser las partículas que si tuvieron una buena reacción geopolimérica del concreto reciclado (Carabba et al, 2016).

- La figura 10, mostró los espectros FTIR de los morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con influencia del porcentaje de Sikacem-plastificante. Los cuales son útiles para analizar la formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H. En estos, se vieron distintos picos característicos que corresponden a diferentes enlaces químicos presentes en la muestra. Entre ellos fueron  $3380\text{ cm}^{-1}$ , el cual representa a los enlaces hidroxilo OH, por la presencia de agua o grupos hidroxilo en la muestra. Indicando una buena estabilidad química de plastificante en el medio alcalino cuando este posee mayor absorbancia. También  $2160\text{ cm}^{-1}$ , el cual puede ser proveniente de enlaces  $\text{C}\equiv\text{N}$ , como los encontrados en los isocianatos o nitrilos. El pico  $1410\text{ cm}^{-1}$ , el cual se puede asociar con enlaces C-H flexionales en compuestos orgánicos. Esto podría indicar la presencia de grupos alquilo o hidrocarburos en la muestra por parte del plastificante. El pico  $977\text{ cm}^{-1}$ , el cual puede

representar a enlaces Si-O-Si, los cuales indican la presencia de compuestos de silicato en la muestra, comunes en materiales de construcción como el concreto. El pico  $875\text{ cm}^{-1}$ , el cual podría estar asociado con enlaces C-H, y su presencia podría sugerir la presencia de grupos hidrocarbonados o alquilos. Por último, el pico  $783\text{ cm}^{-1}$  que también podría estar relacionada con enlaces C-H fuera del plano de vibración (Carabba et al, 2016). Por lo que se fundamenta la evidencia que respalda la formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H, ya que se cuentan con los precursores suficientes por iones de Calcio y Sodio, proporcionados por la matriz, ion calcio en el concreto reciclado por parte del cemento, y por la solución alcalina, ion sodio en el activador de NaOH. Otro de los indicadores clave es el pico a  $977\text{ cm}^{-1}$ , que se atribuye a los enlaces Si-O-Si, los cuales son característicos de los geles de silicato alcalino. Estos enlaces son una parte fundamental de la estructura de los geles C-A-S-H y N-A-S-H, lo que sugiere claramente su formación en el material. Adicionalmente, la presencia de grupos alquilos o hidrocarburos en la muestra, indicada por el pico a  $1410\text{ cm}^{-1}$ , es consistente con la composición de los geles C-A-S-H y N-A-S-H que frecuentemente contienen grupos orgánicos. En conjunto, estos resultados del análisis FTIR proporcionan una sólida base para confirmar la formación de geles C-A-S-H y N-A-S-H en los morteros activados alcalinamente a partir del concreto reciclado. También se apreció que el nivel 1% posee la mayor intensidad de absorción de energía, seguida del nivel 0.5%, luego 1.5%, y por último el nivel 2%, con el espectro de menor intensidad de absorción de energía. Esto podría deberse a que las moléculas o grupos funcionales relevantes en la muestra son más abundantes en ese nivel de concentración. Por lo que podría influir en obtener una geopolimerización de mayor eficiencia, teniendo un impacto beneficioso en el mejoramiento de las propiedades mecánicas.

- Por último, en la figura 8 se presentó la evolución de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado, con respecto al porcentaje de Sikacem-plastificante utilizado. Notamos que los resultados revelaron una tendencia positiva en la evolución de la resistencia desde el nivel 0% hasta el 1% de Sikacem-plastificante, sugiriendo una mejora en la propiedad mecánica a medida que aumenta la cantidad de plastificante. El aditivo plastificante en este rango tiene el propósito en la dispersión de partículas del aglutinante, concreto reciclado, a través del mecanismo de adsorción, lo que contribuye a proporcionar una optimización de la resistencia a la compresión (Jang et al., 2014). Asimismo, al agregar el aditivo



plastificante desde 0.5% a 1%, genera un aumento en la trabajabilidad del mortero partiendo de una trabajabilidad insuficiente a una compactación más completa (Handoko, 2007). De esta forma, las partículas de concreto reciclado pueden hidratarse con el activador alcalino ya que su superficie no está completamente cubierta por partículas de superplastificante, por lo que no se produce una desaceleración excesiva de la hidratación (Handoko, 2007). Logrando una optimización de compactación sin interferir negativamente en la resistencia mecánica (Triwulan et al., 2016). Sin embargo, notamos que después del nivel 1%, se observó una disminución en la propiedad mecánica, indicando que a porcentajes mayores de Sikacem-plastificante podría tener un efecto negativo en la resistencia a la compresión de los morteros. Esto ocurre debido a las dosis excesivas de aditivo plastificante, donde el proceso de hidratación de las partículas de concreto reciclado, que deberían reaccionar con el activador alcalino, se ve afectado ya que la superficie de dichas partículas se encuentra cubierta por el plastificante. De esta forma se ralentiza el desarrollo de la resistencia del mortero e incluso se produce una pérdida drástica de la resistencia a la compresión (Handoko, 2007). Esta pérdida drástica de la caída de resistencia también se puede atribuir al hecho de a dosis altas de aditivos plastificantes, se produce una segregación en las mezclas (Laskar & Talukdar, 2018), como también un aumento de aire atrapado que se presenta a través de grandes porosidades en las mezclas (Jang et al., 2014). Por otro lado, también se observó la misma tendencia positiva en términos de resistencia a la compresión a lo largo del tiempo, al igual que con las propiedades físicas anteriormente mencionadas, independientemente de la tendencia de resistencia a la compresión por nivel de estudio. Esto vuelve a recaer en los procesos de compactación, consolidación y curado que ocurren en la muestra geopolimérica, independientemente de las variaciones por niveles de estudio (Gupta et al, 2020).

## V. CONCLUSIONES

- En este estudio, se ha demostrado de manera concluyente que el porcentaje del aditivo plastificante Sikacem-plastificante ejerce una influencia significativa sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado. Los resultados han revelado una relación clara entre la cantidad de plastificante utilizado y las características del mortero.
- Se realizó una caracterización exhaustiva de las propiedades físicas, incluyendo la densidad, porosidad y porcentaje de fases amorfas, donde se examinó la morfología de los morteros mediante caracterización SEM y ensayos estándar ASTM C188. Los resultados indican que el aumento del porcentaje de plastificante Sikacem-plastificante, en particular del 0.5% al 1%, está relacionado con un aumento en la densidad del mortero, lo que sugiere una mayor compactación de la matriz y una reducción de la porosidad. Esto puede atribuirse a la acción del plastificante en la mejora de la trabajabilidad y la compactación del material. Con respecto al porcentaje de fases amorfas mediante la caracterización SEM, se obtuvieron cambios en la microestructura de los morteros mixtos. Encontrando microestructuras más compactas de partículas reaccionadas de concreto reciclado y con presencia de menores porosidades en los niveles 0.5% y 1%. Reduciendo las fases amorfas para dar resultado a morteros mixtos con mejor estructura.
- Se llevaron a cabo ensayos estándar para determinar la presencia de geles C-A-S-H y N-A-S-H mediante la identificación de los grupos funcionales presentes en los morteros, utilizando la caracterización FTIR. Los resultados de esta caracterización química proporcionan información valiosa sobre cómo la adición de plastificante puede generar grupos funcionales contribuyentes de geles geopoliméricos. Mostrando diferencias de intensidades de absorción de energía entre los niveles de estudio, lo cual puede determinar la validez de la reacción de geopolimerización como también de su desempeño mecánico dentro del rango de adición de aditivo de 0.5% a 1%.
- Se evaluaron las propiedades mecánicas de los morteros, incluyendo la resistencia a la compresión y la trabajabilidad, siguiendo la norma ASTM C109. Se observó que el aumento del porcentaje de plastificante de 0.5% a 1% se correlaciona con un aumento en la resistencia a la compresión y una mejora en la trabajabilidad del

mortero. Sin embargo, cuando el porcentaje de plastificante aumenta de 1% a 2%, se observa una disminución en la densidad y una disminución en la resistencia a la compresión, lo que indica que un mayor contenido de plastificante puede afectar negativamente las propiedades mecánicas del mortero.

## VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar el rango de porcentajes de Sikacem-plastificante para poder explorar posibles efectos que no fueron observados en esta investigación.
- Realizar seguimientos a largo plazo de las propiedades físico-químicas y mecánicas de los morteros con diferentes porcentajes de Sikacem-plastificante para identificar cualquier cambio significativo con el tiempo.
- Investigar el rendimiento de Sikacem-plastificante en comparación con otros aditivos de características similares o complementarios, con énfasis en sus efectos sobre las propiedades del mortero.
- Identificar y detallar aplicaciones específicas en la construcción donde los morteros activados alcalinamente con Sikacem-plastificante puedan ofrecer ventajas significativas, como en la reparación de estructuras o la construcción sostenible.
- Evaluar cuidadosamente el impacto ambiental de la utilización de Sikacem-plastificante en morteros activados alcalinamente, y comparar estos resultados con otras alternativas para determinar su viabilidad en proyectos sostenibles.
- Investigar la posibilidad de utilizar formulaciones alternativas, que incluyan otros materiales reciclados o aditivos compatibles, para mejorar aún más las propiedades de los morteros activados alcalinamente.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelfatah, Akmal & Tabsh, Sami. (2011). *Review of Research on and Implementation of Recycled Concrete Aggregate in the GCC*. Advances in Civil Engineering. 2011. 10.1155/2011/567924.
- ACS. (s.f). Lesson 2.4 - Density and Sinking and Floating. ACS Chemistry for Life. Recuperado de: <https://www.acs.org/education/resources/k-8/inquiryinaction/fifth-grade/substances-have-characteristic-properties/lesson-2-4--density-and-sinking-and-floating.html>
- Aldana, J, & Serpell, A. (2012). *Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis*. Revista de la construcción, 11(2), 04-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200002>
- Anaszewicz, Łukasz. (2021). *Effect of Various Types of Superplasticisers on Consistency, Viscosity, Structure and Long-Term Strength of Geopolymer Products*. Materials. 14. 7614. 10.3390/ma14247614.
- Aytekin, Burcu & Mardani, Ali. (2022). *Sustainable Materials: A Review of Recycled Concrete Aggregate Utilization as Pavement Material*. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2676. 468-491. 10.1177/03611981211052026.
- Barrientos, F. (2016). Los escombros: la gestión de RCDs en el mundo. Recuperado de: <https://blog.cartif.es/los-escombros-la-gestion-de-rcd-en-el-mundo/>
- Burduhos Nergis, Dumitru Doru & Abdullah, Mohd Mustafa Al Bakri & Vizureanu, Petrica & Mohd Tahir, Muhammad Faheem. (2018). *Geopolymers and Their Uses: Review*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 374. 012019. 10.1088/1757-899X/374/1/012019.
- Cajal, A. (2020). *Observación directa: características, tipos y ejemplo*. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/observacion-directa/>
- Cámara de comercio de Lima. (2018). Recuperado de: [https://www.camaralima.org.pe/0/modulos/NOT/NOT\\_DetallarNoticia.aspx?PFL=0&NOT=1228](https://www.camaralima.org.pe/0/modulos/NOT/NOT_DetallarNoticia.aspx?PFL=0&NOT=1228).
- Carabba, L., Manzi, S., & Bignozzi, M. C. (2016). *Superplasticizer Addition to Carbon Fly Ash Geopolymers Activated at Room Temperature*. Materials (Basel, Switzerland), 9(7), 586. <https://doi.org/10.3390/ma9070586>
- Danso, Humphrey. (2020). *Influence of Plantain Pseudostem Fibres and Lime on the Properties of Cement Mortar*. Advances in Materials Science and Engineering. 2020. 1-9. 10.1155/2020/4698603.
- Dündar, Behcet & Çınar Resuloğulları, Emriye & KAPLAN, Cebraıl. (2022). *The Effect of Using Plasticizer Additive in Different Proportions on the Abrasion Resistance of*

Concretes. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 5. 10.47495/okufbed.1035145.

EEA (2016). *Circular economy in Europe — Developing the knowledge base*. Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>

El Comercio. (2017). *Lima y la generación de desmonte*. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-generan-19-mil-toneladas-desmonte-dia-70-mar-rios-noticia-453274>

Estrada, J., Monge, A. (2022). *INFLUENCIA DEL ADITIVO SikaPlast-740 PE, EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO CEMENTO ARENA, OBTENIDO A PARTIR DE ARENA DE LA CANTERA LA RINCONADA DISTRITO SAN JUAN BAUTISTA, LORETO, PERÚ. 2021*. Tesis, Universidad Científica del Perú. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1949>

Fleming, J y Zegwaard, K. (2018). *Methodologies, methods and ethical considerations for conducting research in work-integrated learning*. Recuperado de: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1196755.pdf>

Fore, M. (2020). Amorphous Solid: Definition, Properties & Examples. Recuperado de: <https://sciencing.com/amorphous-solid-definition-properties-examples-13723379.html>

García, I.; Palomo, A.; Fernandez, A. y Macphee, D. (2011). *Compatibility studies between N-A-S-H and C-A-S-H gels. Study in the ternary diagram Na<sub>2</sub>O–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O*. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.05.006

GeologyHub. (2019). *Porosity and Permeability: Definition and Types*. Recuperado de: <https://geologyhub.com/porosity-and-permeability-definition-and-types/>

Gupta, N., Gupta, A., Saxena, K., Shukla, D. y Goyal, S. (2020). *Mechanical and durability properties of geopolymer concrete composite at varying superplasticizer dosage*. Materials Today: Proceedings. 44. 10.1016/j.matpr.2020.05.646.

Handoko, A. (2007). *COMPATIBILITY BETWEEN SUPERPLASTICIZER TYPE POLYCARBOXYLATE AND NAPHTHALENE AND LOCAL CEMENT*. ISBN 979.9243.80.7

Hilal, Ameer. (2016). *Microstructure of Concrete*. 10.5772/64574.

Hrůza, Jaromír & Prošek, Zdeněk. (2017). *THE EFFECT OF PLASTICIZER ON MECHANICAL PROPERTIES OF THE CEMENT PASTE WITH FINE GROUND RECYCLED CONCRETE*. Acta Polytechnica CTU Proceedings. 13. 61. 10.14311/APP.2017.13.0061.

Jang, Jeong Gook & Lee, N. & Lee, H. (2014). *Fresh and hardened properties of alkali-activated fly ash/slag pastes with superplasticizers*. Construction and Building Materials. 50. 169-176. 10.1016/j.conbuildmat.2013.09.048.

Jithendra, C., & Elavenil, S. (2019). *Role of Superplasticizer on GGBS based Geopolymer Concrete under ambient curing*. *Materials Today: Proceedings*, 18, 148–154. doi:10.1016/j.matpr.2019.06.288

Kumar, N., Kumar, G., Singh, B., Netman, K., Verma, M y Kumar, A. (2023). *Performance Evaluation of M20 Grade Geopolymer Concrete using Fly Ash and GGBS with Super Plasticizer*. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. ISSN: 2321-9653

Lateef, Hanadi. (2016). *Studying of Effect The High Range, Water- Reducer/ Super plasticizer, Retarding admixture on Properties of Concrete*

Laskar, S. y Talukdar, S. (2018). *Influence of Superplasticizer and Alkali Activator Concentration on Slag-Flyash Based Geopolymer*. 10.1061/9780784482032.034.

<sup>2</sup> Martínez Molina, Wilfrido & Torres-Acosta, Andres & Alonso-Guzman, Elia & García, Hugo & Hernandez, Hugo & Lara-Gómez, C. & Martínez-Alonso, W. & Perez-Quiroz, Jose Trinidad & Bedolla-Arroyo, Juan & González-Valdéz, F.. (2015). *Recycled concrete: a review*. *Revista ALCONPAT*. 5. 224. 10.21041/ra.v5i3.91.

Memon, F.A. & Nuruddin, F & Demie, Samuel & Shafiq, Nasir. (2012). *Effect of Superplasticizer and Extra Water on Workability and Compressive Strength of Self-Compacting Geopolymer Concrete*. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 4.

<sup>38</sup> Olmedo, J. (s.f.). *Ficha de Observación (campo) [ Que es, como se hace, Ejemplos]*. Recuperado de: [https://tiposdefichas.com/ficha-de-observacion/?expand\\_article=1#google\\_vignette](https://tiposdefichas.com/ficha-de-observacion/?expand_article=1#google_vignette)

Ongpeng, J. (2022). *Effect of superplasticizer on the strength of fly ash based geopolymer concrete*. 10.14311/APP.2022.33.0119.

Sabhadiya, J. (2022). *What Is Compressive Strength?- Definition, Formula*. *Engineering Choice*. Recuperado de: <https://www.engineeringchoice.com/what-is-compressive-strength/>

Salazar, F., (2023). *Comportamiento del mortero con aditivo plastificante para reparación* <sup>22</sup> *onservación de obras civiles*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/25801>

Salustio, Janaina & Torres, Sandro & Silva, Anne & Azevedo, Antônio & Tavares, Jennef & Leal, Matheus & Delgado, João. (2022). *Mortar Bond Strength: A Brief Literature Review, Tests for Analysis, New Research Needs and Initial Experiments*. *Materials*. 15. 2332. 10.3390/ma15062332.

<sup>25</sup> Sathonsaowaphak, Apha & Chindapasirt, Prinya & Pimraksa, Kedsarin. (2009). *Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar*. *Journal of hazardous materials*. 168. 44-50. 10.1016/j.jhazmat.2009.01.120.

- Sika. (2021). *SikaCem® Plastificante*. Recuperado de:  
[https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/f/sikacem\\_plastificante.pdf](https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/f/sikacem_plastificante.pdf)
- Srinivasu, Kota & Sai, M & N, Venkata. (2014). *A Review on Use of Metakaolin in Cement Mortar and Concrete*.
- Triwulan, P. W., & Januarti, J. E. (2016). *Addition of superplasticizer on geopolymer concrete*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences  
[http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_1216\\_5561.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_1216_5561.pdf)
- Trujillo, D., (2022). *INFLUENCIA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE NEOPLAST 8500 HP EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CEMENTO-ARENA EMPLEANDO AGREGADO FINO DE LA CANTERA "LAS AMAZONAS" CARRETERA IQUITOS-NAUTA KM 20, IQUITOS 2021* .Tesis, Universidad Científica del Perú. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1777>



# <sup>1</sup> ANEXOS

Anexo I: Matriz de consistencia

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE SIKACEM-PLASTIFICANTE SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE MORTEROS ACTIVADOS ALCALINAMENTE A PARTIR DE CONCRETO RECICLADO	<p>3</p> <p>¿Cuál es la influencia del porcentaje de sikacem- plastificante sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado?</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El incremento del porcentaje de sikacem- plastificante en el rango de 4.5% a 2%, modifica las propiedades físico-químicas y mecánicas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El incremento del porcentaje de sikacem- plastificante en el rango de 0.5% a 2%, modifica la resistencia mecánica, incrementa la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.</li> </ul>	<p>8</p> <p>Objetivo General</p> <p>Determinar la influencia del porcentaje del aditivo plastificante sikacem- pl<sup>5</sup> sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar las propiedades físicas en densidad y caracterización microscópica de la morfología de morteros mediante ensayos estándar ASTM C188 y caracterización SEM.</li> <li>Determinar las propiedades químicas de los grupos funcionales resultantes de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo el método de caracterización FTIR.</li> <li>Determinar las propiedades mecánicas en esfuerzos de</li> </ul>	<p>Variable Independiente</p> <p>Porcentaje de sikacem- plastificante</p> <p>VARIABLES</p> <p>Variables dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzo de compresión</li> <li>Densidad</li> <li>Porosidad</li> <li>Porcentaje de fases</li> <li>Formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H</li> </ul>	<p>%w: Porcentaje en peso (%)</p> <p>σ: Esfuerzo (MPa)</p> <p>ρ: Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>P: Porosidad (%)</p> <p>Registro fotográfico digital de porcentajes</p> <p>Registro de diferencia de espectros IR</p>	<p>Tipo</p> <p>Aplicada, explicativa y Cuantitativa</p> <p>Métodos</p> <p>Deductivo</p> <p>Diseño</p> <p>Experimental</p> <p>Población</p> <p>todos los morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con adición de aditivo plastificante.</p> <p>Muestra</p> <p>75 especímenes de morteros obtenidos por geopolimerización a partir de concreto reciclado con incorporación de porcentaje aditivo SikaCem-plastificante, de geometría cubica con dimensiones de 50*50*50mm. Esta contabilización de muestras se realizó</p>

rango de 0.5% a 2%, modifica las propiedades físicas; incrementa la densidad y porcentaje de fases amorfas, y reduce la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

- El incremento del porcentaje de sikaem-plastificante en el rango de 0.5% a 2%, modifica la composición química; **3** incrementa la formación de geles tipo C-A-S-H y N-A-S-H de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado.

compresión y trabajabilidad de los morteros mediante ensayos estándar, siguiendo la norma ASTM C109.

mediante la siguiente fórmula:

**32** **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**  
Observación directa y Formatos de instrumentos de medición.

**Métodos de análisis de investigación**  
ANOVA unidireccional

**1** Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Instrumentos	Escala de medición
<b>Variable independiente</b> Porcentaje de SikaCem® Plastificante	<b>8</b> Es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales (Sika, 2021).	Medida de pesos durante el proceso de conformado	%wp = (mp/ma) * 100  %wp: Porcentaje en peso de plastificante (%) mp: masa de plastificante (g) ma: masa de aglomerante (g)	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%
<b>Variable dependiente</b> Esfuerzo de compresión	<b>10</b> La resistencia a la compresión se refiere a la capacidad de un determinado material o elemento estructural para soportar cargas que reducen el tamaño de ese material o elemento estructural cuando se aplica. Se aplica una fuerza a la parte superior e inferior de una muestra de prueba, hasta que la muestra se fractura o se deforma (Sabhadiya, 2022).	Registro de carga aplicada versus área de muestra en función del tiempo	$\sigma = F/A$  $\sigma$ : Esfuerzo (MPa) F: Fuerza (N) A: Área (mm <sup>2</sup> )	Formulario	Nominal	Fichas de observación	MPa
<b>Variable dependiente</b> Densidad	Es una medida de qué tan pesado es algo en comparación con su tamaño. La densidad es una propiedad característica de una sustancia y no depende de la cantidad de sustancia (ACS, s.f).	Registro de unidad de masa sobre unidad de volumen de muestra	$\rho = m/v$  $\rho$ : Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) m: Masa (g) v: Volumen (cm <sup>3</sup> )	Formulario	Nominal	Fichas de observación	<b>29</b> g/cm <sup>3</sup>
<b>Variable dependiente</b>	Es el porcentaje del volumen total de una roca o suelo que	Registro del cociente del	$P = ((pa - \rho r) / \rho a) * 100$	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%

Porosidad	<p>está ocupado por intersticios, ya sean aislados o conectados. Los materiales porosos pueden absorber fluidos o humedad, lo que provoca corrosión (GeologyHub, 2019).</p>	<p>volumen de vacíos sobre volumen total de muestra</p>	<p>P: Porosidad (%)  pa: Densidad aparente sin compactación (g/cm<sup>3</sup>)  pr: Densidad real (g/cm<sup>3</sup>)</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%
<p><b>Variable dependiente</b>  Porcentaje de fases amorfas</p>	<p>Es un sólido cuyos átomos no están en <b>42</b> patrón cristalino regular. La palabra amorfa proviene de la palabra griega <b>ámorphos</b>, que significa "sin forma" (Fore, 2020).</p>	<p>Registro de porcentaje de fases de muestra</p>	<p>Registro fotográfico digital de porcentajes</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	%
<p><b>Variable dependiente</b>  Formación de geles  C-A-S-H y N-A-S-H</p>	<p>Es un tipo de material similar a un gel que se forma durante la hidratación de materiales cementosos, como los aluminosilicatos, en presencia de activadores alcalinos. Esta reacción es un proceso fundamental en el endurecimiento y fraguado de materiales cementosos (García et al., 2011).</p>	<p>Registro de transmitancia sobre número de onda de muestra</p>	<p>Registro de diferencia de espectros IR</p>	Formulario	Nominal	Fichas de observación	Espectro FTIR

Anexo 3: Resultados <sup>27</sup> prueba de hipótesis

*Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días*

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	9.73	1.946	0.00378
_0.5%	5	11.63	2.326	0.00578
_1%	5	12.22	2.444	0.00398
_1.5%	5	10.93	2.186	0.00443
_2%	5	9.75	1.95	0.0031

ANÁLISIS DE  
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.991216	4	0.247804	58.8049359	8.92182E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	0.08428	20	0.004214			
Total	1.075496	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días

## RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	9.9	1.98	0.00085
_0.5%	5	11.75	2.35	0.00265
_1%	5	12.42	2.484	0.00128
_1.5%	5	11.1	2.22	0.0014
_2%	5	9.85	1.97	0.00365

ANÁLISIS DE  
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.024264	4	0.256066	130.247202	5.0695E-14	2.8660814
Dentro de los grupos	0.03932	20	0.001966			
Total	1.063584	24				

Prueba de hipótesis de la densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	10.11	2.022	0.00432
_0.5%	5	11.89	2.378	0.00077
_1%	5	12.74	2.548	0.00067
_1.5%	5	11.23	2.246	0.00058
_2%	5	9.97	1.994	0.01933

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.109776	4	0.277444	54.0405142	1.92663E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	0.10268	20	0.005134			
Total	1.212456	24				



Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	39.53	7.906	0.40628
_0.5%	5	30.09	6.018	0.41997
_1%	5	28.58	5.716	0.21173
_1.5%	5	37.68	7.536	0.19028
_2%	5	43.95	8.79	0.077

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	33.692904	4	8.423226	32.266468	1.82566E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	5.22104	20	0.261052			
Total	38.913944	24				

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	37.63	7.526	0.51988
_0.5%	5	28.61	5.722	0.37542
_1%	5	26.33	5.266	0.30728
_1.5%	5	36.14	7.228	0.10392
_2%	5	42.8	8.56	0.263

ANÁLISIS  
DE  
VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	36.524296	4	9.131074	29.089118	4.39323E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	6.278	20	0.3139			
Total	42.802296	24				

Prueba de hipótesis de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	35.1	7.02	0.142
_0.5%	5	25.6	5.12	0.117
_1%	5	23.3	4.66	0.093
_1.5%	5	34.4	6.88	0.222
_2%	5	39.5	7.9	0.06

ANÁLISIS

DE

VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	37.4776	4	9.3694	73.891167	1.08402E-11	2.8660814
Dentro de los grupos	2.536	20	0.1268			
Total	40.0136	24				

Prueba de hipótesis <sup>1</sup> de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 7 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	42.17	8.434	0.39768
_0.5%	5	46.59	9.318	0.28992
_1%	5	55.65	11.13	0.12825
_1.5%	5	45.58	9.116	0.34613
_2%	5	37.79	7.558	0.16127

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	34.946864	4	8.736716	33.012341	1.50154E-08	2.8660814
Dentro de los grupos	5.293	20	0.26465			
Total	40.239864	24				

Prueba de hipótesis <sup>1</sup> de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 14 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	48.1	9.62	0.5371
_0.5%	5	53.69	10.738	0.57107
_1%	5	63.6	12.72	0.34515
_1.5%	5	53.72	10.744	0.10513
_2%	5	40.7	8.14	0.3201

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	56.653456	4	14.163364	37.6975966	4.76622E-09	2.8660814
Dentro de los grupos	7.5142	20	0.37571			
Total	64.167656	24				

Prueba de hipótesis <sup>1</sup> de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante a 28 días

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
_0%	5	57.25	11.45	0.264
_0.5%	5	62.04	12.408	0.72652
_1%	5	73.86	14.772	0.33247
_1.5%	5	59.26	11.852	0.19117
_2%	5	47.61	9.522	0.28892

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	71.576664	4	17.894166	49.621109	4.16633E-10	2.8660814
Dentro de los grupos	7.21232	20	0.360616			
Total	78.788984	24				

Anexo 4: Resultados de laboratorio

Resultados de la densidad <sup>5</sup> de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )						
7 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	1.9	2.02	1.88	2	1.93	1.95
SP1 - 1 / a1	2.28	2.3	2.31	2.28	2.46	2.33
SP2 - 1 / a2	2.49	2.41	2.35	2.5	2.47	2.44
SP3 - 1 / a3	2.13	2.23	2.1	2.22	2.25	2.19
SP4 - 1 / a4	1.88	1.96	2.02	1.91	1.98	1.95
14 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	2	1.96	2.01	1.94	1.99	1.98
SP1 - 2 / a1	2.36	2.31	2.42	2.29	2.37	2.35
SP2 - 2 / a2	2.47	2.44	2.51	2.47	2.53	2.48
SP3 - 2 / a3	2.24	2.25	2.19	2.25	2.17	2.22
SP4 - 2 / a4	2.07	1.92	1.98	1.95	1.93	1.97
28 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	2.04	2	2.12	2.01	1.94	2.02
SP1 - 3 / a1	2.39	2.36	2.42	2.35	2.37	2.38
SP2 - 3 / a2	2.57	2.53	2.58	2.52	2.54	2.55
SP3 - 3 / a3	2.26	2.23	2.28	2.22	2.24	2.25
SP4 - 3 / a4	2.2	1.81	2.01	1.97	1.98	1.99

*Resultados de la porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante*

Porosidad (%)						
7 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	7.2	8.6	7.4	7.9	8.5	7.9
SP1 - 1 / a1	6.1	5.6	5.2	6.3	6.9	6.0
SP2 - 1 / a2	5.0	6.1	5.4	6.0	6.1	5.7
SP3 - 1 / a3	7.8	8.0	7.3	7.7	6.9	7.5
SP4 - 1 / a4	8.3	8.8	9.0	8.8	9.0	8.8
14 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	7.1	6.9	7.6	8.7	7.3	7.5
SP1 - 2 / a1	5.4	6.1	5.4	6.6	5.1	5.7
SP2 - 2 / a2	4.9	5.6	5.2	4.6	6.0	5.3
SP3 - 2 / a3	7.6	7.0	7.3	6.8	7.4	7.2
SP4 - 2 / a4	8.8	8.7	9.2	7.9	8.2	8.6
28 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	7.1	6.4	7.2	7.4	7.0	7.0
SP1 - 3 / a1	5.0	5.5	4.6	5.2	5.3	5.1
SP2 - 3 / a2	4.5	4.6	4.3	5.1	4.8	4.7
SP3 - 3 / a3	7.7	6.7	6.5	6.8	6.7	6.9
SP4 - 3 / a4	7.8	7.8	8.1	7.6	8.2	7.9



**3** *Resultados de la resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante*

**3** Resistencia a la compresión (MPa)

7 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	8.32	8.18	7.88	9.52	8.27	8.43
SP1 - 1 / a1	10.09	9.01	9.39	9.45	8.65	9.32
SP2 - 1 / a2	11.49	11.46	10.88	11.15	10.67	11.13
SP3 - 1 / a3	9.66	9.02	8.23	9.02	9.65	9.12
SP4 - 1 / a4	7.23	7.52	7.92	8.01	7.11	7.56
14 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	10.29	9.21	9.91	10.15	8.54	9.62
SP1 - 2 / a1	10.19	11.52	10.31	11.6	10.07	10.74
SP2 - 2 / a2	13.34	12.32	12.96	11.91	13.07	12.72
SP3 - 2 / a3	10.37	11.2	10.82	10.5	10.83	10.74
SP4 - 2 / a4	8.35	7.98	8.49	7.23	8.65	8.14
28 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	10.74	11.88	12.02	11.3	11.31	11.45
SP1 - 3 / a1	12.88	11.72	13.62	12.26	11.56	12.41
SP2 - 3 / a2	15.14	13.93	15.24	15.14	14.41	14.77
SP3 - 3 / a3	11.96	11.59	11.64	12.57	11.5	11.85
SP4 - 3 / a4	8.95	9.44	9.1	9.88	10.24	9.52

Anexo 5: Fotografías de la investigación

*Morteros sin adición de sikacem-plastificante*

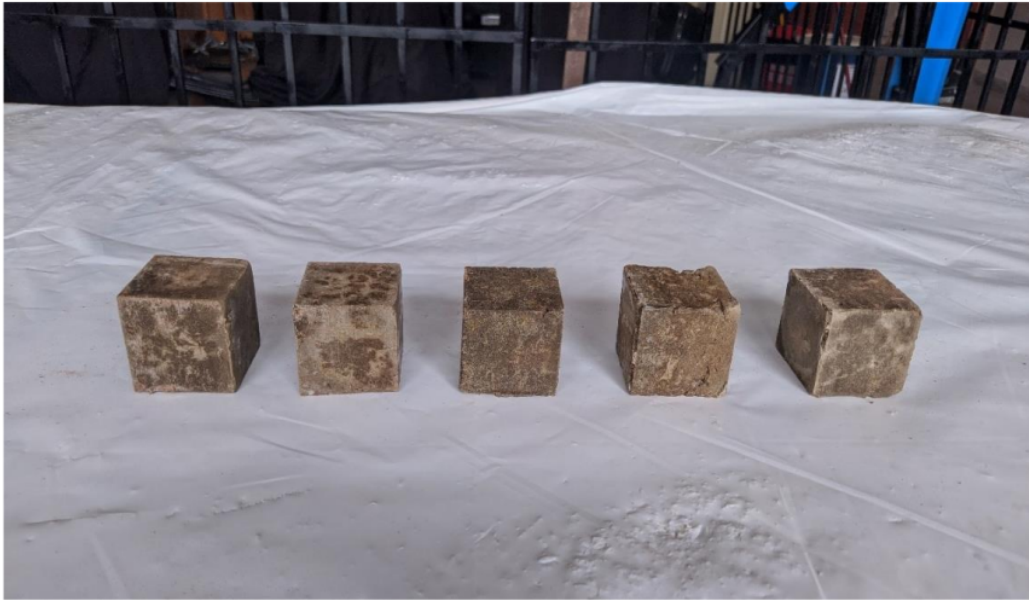


<sup>3</sup>  
*Morteros con adición de 0.5% de sikacem-plastificante*



3

Morteros con adición de 1% de sikacem-plastificante



Morteros con adición de 1.5% de sikacem-plastificante



3  
*Morteros con adición de 2% de sikacem-plastificante*



*Polvo de concreto reciclado*



*Activación alcalina de muestras con solución NaOH 6M*



3

*Adición de aditivo sikacem-plastificante*



*Mezclado de geopolímeros*



*Vertimiento de morteros en molde*





*Vista superior de mortero*



*Vista inferior de mortero*



*Mortero activado alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante*



5

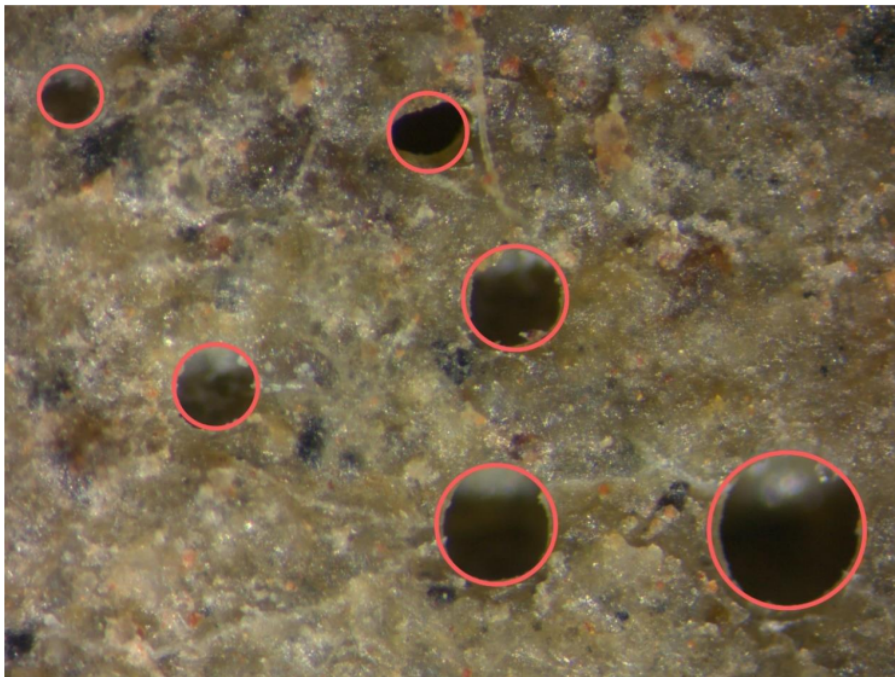
*Ensayo de compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante*



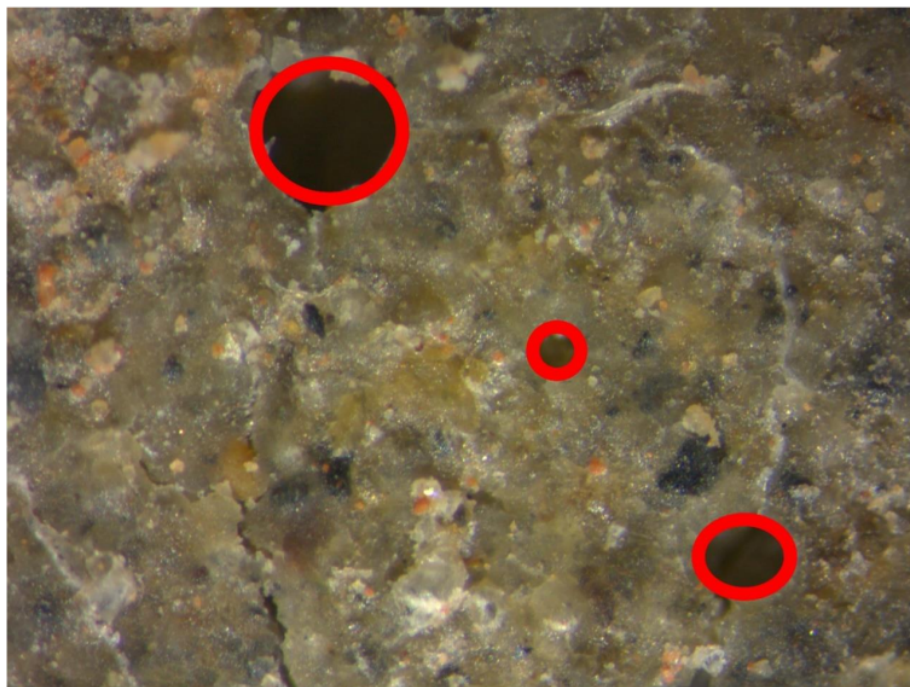
*Falla por esfuerzo de compresion de mortero geopolimérico*



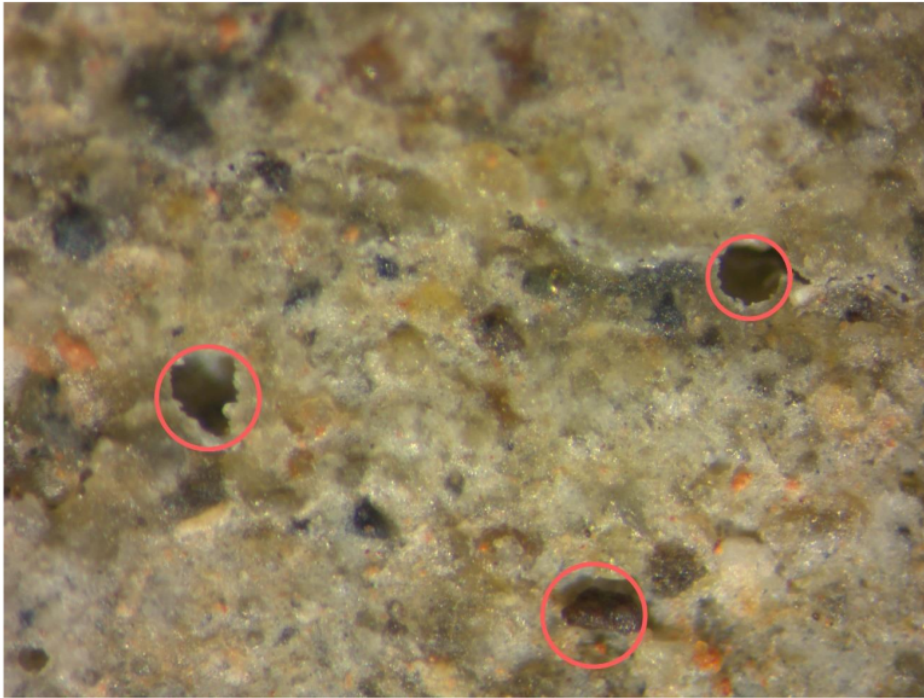
*Fotografía de porosidad de morteros con 0% de sikacem-plastificante*



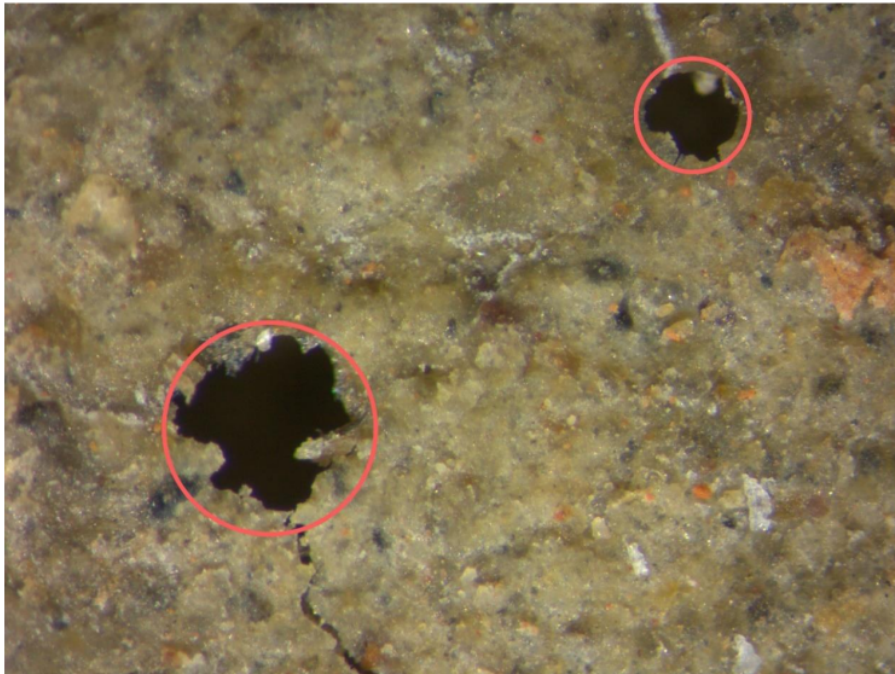
*Fotografía de porosidad de morteros con 0.5% de sikacem-plastificante*



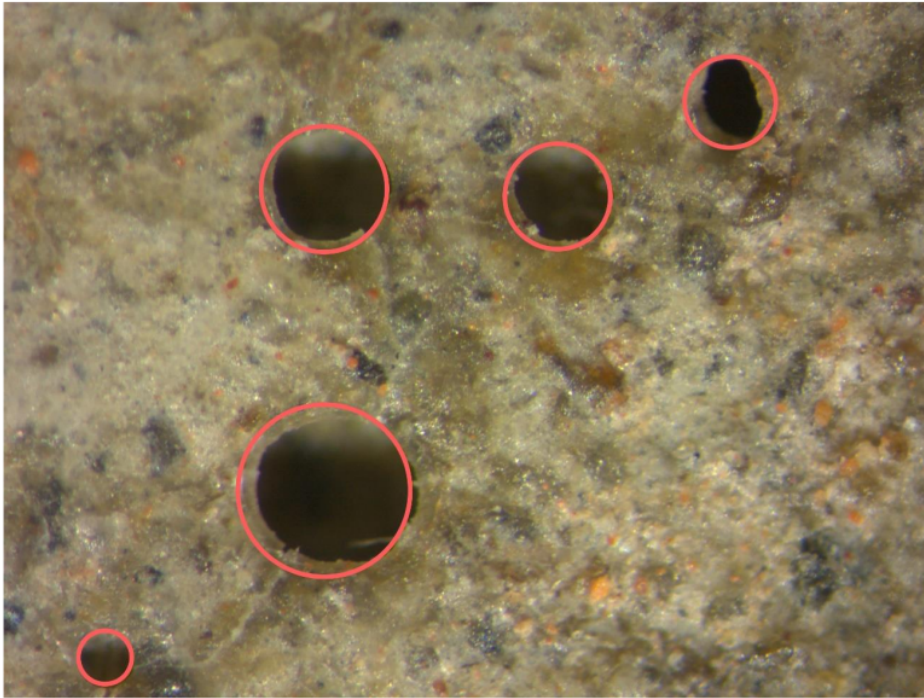
*Fotografía de porosidad de morteros con 1% de sikacem-plastificante*



*Fotografía de porosidad de morteros con 1.5% de sikacem-plastificante*



*Fotografía de porosidad de morteros con 2% de sikacem-plasticante*



## ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars



Designation: C 109/C 109M – 99

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS  
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428  
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

### Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 109/C 109M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This test method covers determination of the compressive strength of hydraulic cement mortars, using 2-in. or [50-mm] cube specimens.

NOTE 1—Test Method C 349 provides an alternative procedure for this determination (not to be used for acceptance tests).

1.2 This test method covers the application of the test using either inch-pound or SI units. The values stated in either system shall be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

1.3 Values in SI units shall be obtained by measurement in SI units or by appropriate conversion, using the Rules for Conversion and Rounding given in Standard IEEE/ASTM SI 10, of measurements made in other units.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- C 230 Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement<sup>2</sup>
- C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency<sup>2</sup>
- C 349 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)<sup>2</sup>
- C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes<sup>2</sup>
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-1 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.27 on Strength.

Current edition approved Jan. 10, 1999. Published May 1999. Originally published as C 109 – 34 T. Last previous edition C 109 – 98.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

for Test Methods for Construction Materials<sup>3</sup>

C 778 Specification for Standard Sand<sup>2</sup>

C 1005 Specification for Weights and Weighing Devices for Use in Physical Testing of Hydraulic Cements<sup>2</sup>

IEEE/ASTM SI 10 Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System<sup>4</sup>

#### 3. Summary of Test Method

3.1 The mortar used consists of 1 part cement and 2.75 parts of sand proportioned by mass. Portland or air-entraining portland cements are mixed at specified water/cement ratios. Water content for other cements is that sufficient to obtain a flow of  $110 \pm 5$  in 25 drops of the flow table. Two-inch or [50-mm] test cubes are compacted by tamping in two layers. The cubes are cured one day in the molds and stripped and immersed in lime water until tested.

#### 4. Significance and Use

4.1 This test method provides a means of determining the compressive strength of hydraulic cement and other mortars and results may be used to determine compliance with specifications. Further, this test method is referenced by numerous other specifications and test methods. Caution must be exercised in using the results of this test method to predict the strength of concretes.

#### 5. Apparatus

5.1 *Weights and Weighing Devices*, shall conform to the requirements of Specification C 1005. The weighing device shall be evaluated for precision and bias at a total load of 2000 g.

5.2 *Glass Graduates*, of suitable capacities (preferably large enough to measure the mixing water in a single operation) to deliver the indicated volume at 20°C. The permissible variation shall be  $\pm 2$  mL. These graduates shall be subdivided to at least 5 mL, except that the graduation lines may be omitted for the lowest 10 mL for a 250-mL graduate and for the lowest 25 mL of a 500-mL graduate. The main graduation lines shall be circles and shall be numbered. The least graduations shall extend at least one seventh of the way around, and intermediate

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



**C 109/C 109M**

graduations shall extend at least one fifth of the way around.

5.3 *Specimen Molds*, for the 2-in. or [50-mm] cube specimens shall be tight fitting. The molds shall have not more than three cube compartments and shall be separable into not more than two parts. The parts of the molds when assembled shall be positively held together. The molds shall be made of hard metal not attacked by the cement mortar. For new molds the Rockwell hardness number of the metal shall be not less than 55 HRB. The sides of the molds shall be sufficiently rigid to prevent spreading or warping. The interior faces of the molds shall be plane surfaces and shall conform to the tolerances of Table 1.

5.4 *Mixer, Bowl and Paddle*, an electrically driven mechanical mixer of the type equipped with paddle and mixing bowl, as specified in Practice C 305.

5.5 *Flow Table and Flow Mold*, conforming to the requirements of Specification C 230.

5.6 *Tamper*, a nonabsorptive, nonabrasive, nonbrittle material such as a rubber compound having a Shore A durometer hardness of  $80 \pm 10$  or seasoned oak wood rendered nonabsorptive by immersion for 15 min in paraffin at approximately 392°F or [200°C], shall have a cross section of about 1/2 by 1 in. or [13 by 25 mm] and a convenient length of about 5 to 6 in. or [120 to 150 mm]. The tamping face shall be flat and at right angles to the length of the tamper.

5.7 *Trowel*, having a steel blade 4 to 6 in. [100 to 150 mm] in length, with straight edges.

5.8 *Moist Cabinet or Room*, conforming to the requirements of Specification C 511.

5.9 *Testing Machine*, either the hydraulic or the screw type, with sufficient opening between the upper bearing surface and the lower bearing surface of the machine to permit the use of verifying apparatus. The load applied to the test specimen shall be indicated with an accuracy of  $\pm 1.0\%$ . If the load applied by the compression machine is registered on a dial, the dial shall be provided with a graduated scale that can be read to at least the nearest 0.1 % of the full scale load (Note 2). The dial shall be readable within 1 % of the indicated load at any given load level within the loading range. In no case shall the loading range of a dial be considered to include loads below the value that is 100 times the smallest change of load that can be read on the scale. The scale shall be provided with a graduation line equal to zero and so numbered. The dial pointer shall be of sufficient length to reach the graduation marks; the width of the end of the pointer shall not exceed the clear distance between the smallest graduations. Each dial shall be equipped with a zero adjustment that is easily accessible from the outside of the dial case, and with a suitable device that at all times until reset,

will indicate to within 1 % accuracy the maximum load applied to the specimen.

5.9.1 If the testing machine load is indicated in digital form, the numerical display must be large enough to be easily read. The numerical increment must be equal to or less than 0.10 % of the full scale load of a given loading range. In no case shall the verified loading range include loads less than the minimum numerical increment multiplied by 100. The accuracy of the indicated load must be within 1.0 % for any value displayed within the verified loading range. Provision must be made for adjusting to indicate true zero at zero load. There shall be provided a maximum load indicator that at all times until reset will indicate within 1 % system accuracy the maximum load applied to the specimen.

NOTE 2—As close as can be read is considered 1/50 in. or [0.5 mm] along the arc described by the end of the pointer. Also, one half of the scale interval is about as close as can reasonably be read when the spacing on the load indicating mechanism is between 1/25 in. or [1 mm] and 1/16 in. or [1.6 mm]. When the spacing is between 1/16 in. or [1.6 mm] and 1/8 in. or [3.2 mm], one third of the scale interval can be read with reasonable certainty. When the spacing is 1/8 in. or [3.2 mm] or more, one fourth of the scale interval can be read with reasonable certainty.

5.9.2 The upper bearing shall be a spherically seated, hardened metal block firmly attached at the center of the upper head of the machine. The center of the sphere shall lie at the center of the surface of the block in contact with the specimen. The block shall be closely held in its spherical seat, but shall be free to tilt in any direction. The diagonal or diameter (Note 3) of the bearing surface shall be only slightly greater than the diagonal of the face of the 2-in. or [50-mm] cube in order to facilitate accurate centering of the specimen. A hardened metal bearing block shall be used beneath the specimen to minimize wear of the lower platen of the machine. The bearing block surfaces intended for contact with the specimen shall have a Rockwell hardness number not less than 60 HRC. These surfaces shall not depart from plane surfaces by more than 0.0005 in. or [0.013 mm] when the blocks are new and shall be maintained within a permissible variation of 0.001 in. or [0.025 mm].

NOTE 3—A diameter of 3/8 in. or [79.4 mm], is satisfactory, provided that the lower bearing block has a diameter slightly greater than the diagonal of the face of the 2-in. or [50-mm] cube but not more than 2.9 in. or [74 mm], and is centered with respect to the upper bearing block and held in position by suitable means.

**6. Materials**

6.1 *Graded Standard Sand*:

6.1.1 The sand (Note 4) used for making test specimens

**TABLE 1 Permissible Variations of Specimen Molds**

Parameter	2-in. Cube Molds		[50-mm] Cube Molds	
	New	In Use	New	In Use
Planeness of sides	<0.001 in.	<0.002 in.	[<0.025 mm]	[<0.05 mm]
Distance between opposite sides	2 in. $\pm$ 0.005	2 in. $\pm$ 0.02	[50 mm $\pm$ 0.13 mm]	[50 mm $\pm$ 0.50 mm]
Height of each compartment	2 in. + 0.01 in. to - 0.005 in.	2 in. + 0.01 in. to - 0.015 in.	[50 mm + 0.25 mm to - 0.13 mm]	[50 mm + 0.25 mm to - 0.38 mm]
Angle between adjacent faces <sup>A</sup>	90 $\pm$ 0.5°	90 $\pm$ 0.5°	90 $\pm$ 0.5°	90 $\pm$ 0.5°

<sup>A</sup> Measured at points slightly removed from the intersection. Measured separately for each compartment between all the interior faces and the adjacent face and between interior faces and top and bottom planes of the mold.

## C 109/C 109M

shall be natural silica sand conforming to the requirements for graded standard sand in Specification C 778.

**NOTE 4—Segregation of Graded Sand**—The graded standard sand should be handled in such a manner as to prevent segregation, since variations in the grading of the sand cause variations in the consistency of the mortar. In emptying bins or sacks, care should be exercised to prevent the formation of mounds of sand or craters in the sand, down the slopes of which the coarser particles will roll. Bins should be of sufficient size to permit these precautions. Devices for drawing the sand from bins by gravity should not be used.

### 7. Temperature and Humidity

**7.1 Temperature**—The temperature of the air in the vicinity of the mixing slab, the dry materials, molds, base plates, and mixing bowl, shall be maintained between 68 and 81.5°F or [20 and 27.5°C]. The temperature of the mixing water, moist closet or moist room, and water in the storage tank shall be set at 73.5 ± 3.5°F or [23 ± 2°C] and shall not vary from this temperature by more than ± 3°F or [± 1.7°C].

**7.2 Humidity**—The relative humidity of the laboratory shall be not less than 50%. The moist closet or moist room shall conform to the requirements of Specification C 511.

### 8. Test Specimens

8.1 Make two or three specimens from a batch of mortar for each period of test or test age.

### 9. Preparation of Specimen Molds

9.1 Apply a thin coating of release agent to the interior faces of the mold and non-absorptive base plates. Apply oils and greases using an impregnated cloth or other suitable means. Wipe the mold faces and the base plate with a cloth as necessary to remove any excess release agent and to achieve a thin, even coating on the interior surfaces. When using an aerosol lubricant, spray the release agent directly onto the mold faces and base plate from a distance of 6 to 8 in. or [150 to 200 mm] to achieve complete coverage. After spraying, wipe the surface with a cloth as necessary to remove any excess aerosol lubricant. The residue coating should be just sufficient to allow a distinct finger print to remain following light finger pressure (Note 5).

9.2 Seal the surfaces where the halves of the mold join by applying a coating of light cup grease such as petrolatum. The amount should be sufficient to extrude slightly when the two halves are tightened together. Remove any excess grease with a cloth.

9.3 After placing the mold on its base plate (and attaching, if clamp-type) carefully remove with a dry cloth any excess oil or grease from the surface of the mold and the base plate to which watertight sealant is to be applied. As a sealant, use paraffin, microcrystalline wax, or a mixture of three parts paraffin to five parts rosin by mass. Liquify the sealant by heating between 230 and 248°F or [110 and 120°C]. Effect a watertight seal by applying the liquefied sealant at the outside contact lines between the mold and its base plate.

**NOTE 5**—Because aerosol lubricants evaporate, molds should be checked for a sufficient coating of lubricant immediately prior to use. If an extended period of time has elapsed since treatment, retreatment may be necessary.

**NOTE 6—Watertight Molds**—The mixture of paraffin and rosin specified

for sealing the joints between molds and base plates may be found difficult to remove when molds are being cleaned. Use of straight paraffin is permissible if a watertight joint is secured, but due to the low strength of paraffin it should be used only when the mold is not held to the base plate by the paraffin alone. A watertight joint may be secured with paraffin alone by slightly warming the mold and base plate before brushing the joint. Molds so treated should be allowed to return to the specified temperature before use.

### 10. Procedure

#### 10.1 Composition of Mortars:

10.1.1 The proportions of materials for the standard mortar shall be one part of cement to 2.75 parts of graded standard sand by weight. Use a water-cement ratio of 0.485 for all portland cements and 0.460 for all air-entraining portland cements. The amount of mixing water for other than portland and air-entraining portland cements shall be such as to produce a flow of 110 ± 5 as determined in accordance with 10.3 and shall be expressed as weight percent of cement.

10.1.2 The quantities of materials to be mixed at one time in the batch of mortar for making six and nine test specimens shall be as follows:

	Number of Specimens	
	6	9
Cement, g	500	740
Sand, g	1375	2035
Water, mL		
Portland (0.485)	242	359
Air-entraining portland (0.460)	230	340
Other (to flow of 110 ± 5)	...	...

#### 10.2 Preparation of Mortar:

10.2.1 Mechanically mix in accordance with the procedure given in Practice C 305.

#### 10.3 Determination of Flow:

10.3.1 Carefully wipe the flow-table top clean and dry, and place the flow mold at the center. Place a layer of mortar about 1 in. or [25 mm] in thickness in the mold and tamp 20 times with the tamper. The tamping pressure shall be just sufficient to ensure uniform filling of the mold. Then fill the mold with mortar and tamp as specified for the first layer. Cut off the mortar to a plane surface, flush with the top of the mold, by drawing the straight edge of a trowel (held nearly perpendicular to the mold) with a sawing motion across the top of the mold. Wipe the table top clean and dry, being especially careful to remove any water from around the edge of the flow mold. Lift the mold away from the mortar 1 min after completing the mixing operation. Immediately, drop the table through a height of 1/2 in. or [13 mm] 25 times in 15 s. Using the calipers, determine the flow by measuring the diameters of the mortar along the lines scribed in the table top, adding the four readings. The total of the four readings from the calipers equals the percent increase of the original diameter of the mortar.

10.3.2 For portland and air-entraining portland cements, merely record the flow.

10.3.3 In the case of cements other than portland or air-entraining portland cements, make trial mortars with varying percentages of water until the specified flow is obtained. Make each trial with fresh mortar.

#### 10.4 Molding Test Specimens:

10.4.1 Immediately following completion of the flow test,

return the mortar from the flow table to the mixing bowl. Quickly scrape the bowl sides and transfer into the batch the mortar that may have collected on the side of the bowl and then remix the entire batch 15 s at medium speed. Upon completion of mixing, the mixing paddle shall be shaken to remove excess mortar into the mixing bowl.

10.4.2 When a duplicate batch is to be made immediately for additional specimens, the flow test may be omitted and the mortar allowed to stand in the mixing bowl 90 s without covering. During the last 15 s of this interval, quickly scrape the bowl sides and transfer into the batch the mortar that may have collected on the side of the bowl. Then remix for 15 s at medium speed.

10.4.3 Start molding the specimens within a total elapsed time of not more than 2 min and 30 s after completion of the original mixing of the mortar batch. Place a layer of mortar about 1 in. or [25 mm] (approximately one half of the depth of the mold) in all of the cube compartments. Tamp the mortar in each cube compartment 32 times in about 10 s in 4 rounds, each round to be at right angles to the other and consisting of eight adjoining strokes over the surface of the specimen, as illustrated in Fig. 1. The tamping pressure shall be just sufficient to ensure uniform filling of the molds. The 4 rounds of tamping (32 strokes) of the mortar shall be completed in one cube before going to the next. When the tamping of the first layer in all of the cube compartments is completed, fill the compartments with the remaining mortar and then tamp as specified for the first layer. During tamping of the second layer bring in the mortar forced out onto the tops of the molds after each round of tamping by means of the gloved fingers and the tamper upon completion of each round and before starting the next round of tamping. On completion of the tamping, the tops of all cubes should extend slightly above the tops of the molds. Bring in the mortar that has been forced out onto the tops of the molds with a trowel and smooth off the cubes by drawing the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) once across the top of each cube at right angles to the length of the mold. Then, for the purpose of leveling the mortar and making the mortar that protrudes above the top of the mold of more uniform thickness, draw the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) lightly once along the length of the mold. Cut off the mortar to a plane surface flush with the top of the mold by drawing the straight edge of the trowel (held nearly perpendicular to the mold) with a sawing motion over the length of the mold.

10.5 *Storage of Test Specimens*—Immediately upon completion of molding, place the test specimens in the moist closet or moist room. Keep all test specimens, immediately

after molding, in the molds on the base plates in the moist closet or moist room from 20 to 72 h with their upper surfaces exposed to the moist air but protected from dripping water. If the specimens are removed from the molds before 24 h, keep them on the shelves of the moist closet or moist room until they are 24-h old, and then immerse the specimens, except those for the 24-h test, in saturated lime water in storage tanks constructed of noncorroding materials. Keep the storage water clean by changing as required.

10.6 *Determination of Compressive Strength:*

10.6.1 Test the specimens immediately after their removal from the moist closet in the case of 24-h specimens, and from storage water in the case of all other specimens. All test specimens for a given test age shall be broken within the permissible tolerance prescribed as follows:

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	±½ h
3 days	±1 h
7 days	±3 h
28 days	±12 h

If more than one specimen at a time is removed from the moist closet for the 24-h tests, keep these specimens covered with a damp cloth until time of testing. If more than one specimen at a time is removed from the storage water for testing, keep these specimens in water at a temperature of 73.5 ± 3.5°F or [23 ± 2°C] and of sufficient depth to completely immerse each specimen until time of testing.

10.6.2 Wipe each specimen to a surface-dry condition, and remove any loose sand grains or incrustations from the faces that will be in contact with the bearing blocks of the testing machine. Check these faces by applying a straightedge (Note 7). If there is appreciable curvature, grind the face or faces to plane surfaces or discard the specimen. A periodic check of the cross-sectional area of the specimens should be made.

NOTE 7—*Specimen Faces*—Results much lower than the true strength will be obtained by loading faces of the cube specimen that are not truly plane surfaces. Therefore, it is essential that specimen molds be kept scrupulously clean, as otherwise, large irregularities in the surfaces will occur. Instruments for cleaning molds should always be softer than the metal in the molds to prevent wear. In case grinding specimen faces is necessary, it can be accomplished best by rubbing the specimen on a sheet of fine emery paper or cloth glued to a plane surface, using only a moderate pressure. Such grinding is tedious for more than a few thousandths of an inch (hundredths of a millimetre); where more than this is found necessary, it is recommended that the specimen be discarded.

10.6.3 Apply the load to specimen faces that were in contact with the true plane surfaces of the mold. Carefully place the specimen in the testing machine below the center of the upper bearing block. Prior to the testing of each cube, it shall be ascertained that the spherically seated block is free to tilt. Use no cushioning or bedding materials. Bring the spherically seated block into uniform contact with the surface of the specimen. Apply the load rate at a relative rate of movement between the upper and lower platens corresponding to a loading on the specimen with the range of 200 to 400 lbs/s [900 to 1800 N/S]. Obtain this designated rate of movement of the platen during the first half of the anticipated maximum load and make no adjustment in the rate of movement of the platen in the latter half of the loading especially while the cube is

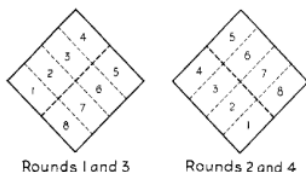


FIG. 1 Order of Tamping in Molding of Test Specimens

yielding before failure.

NOTE 8—It is advisable to apply only a very light coating of a good quality, light mineral oil to the spherical seat of the upper platen.

**11. Calculation**

11.1 Record the total maximum load indicated by the testing machine, and calculate the compressive strength as follows:

$$f_m = P/A \tag{1}$$

where:

- $f_m$  = compressive strength in psi or [MPa],
- $P$  = total maximum load in lbf or [N], and
- $A$  = area of loaded surface in<sup>2</sup> or [mm<sup>2</sup>].

Either 2-in. or [50-mm] cube specimens may be used for the determination of compressive strength, whether inch-pound or SI units are used. However, consistent units for load and area must be used to calculate strength in the units selected. If the cross-sectional area of a specimen varies more than 1.5 % from the nominal, use the actual area for the calculation of the compressive strength. The compressive strength of all acceptable test specimens (see Section 12) made from the same sample and tested at the same period shall be averaged and reported to the nearest 10 psi [0.1 MPa].

**12. Report**

12.1 Report the flow to the nearest 1 % and the water used to the nearest 0.1 %. Average compressive strength of all specimens from the same sample shall be reported to the nearest 10 psi [0.1 MPa].

**13. Faulty Specimens and Retests**

13.1 In determining the compressive strength, do not consider specimens that are manifestly faulty.

13.2 The maximum permissible range between specimens from the same mortar batch, at the same test age is 8.7 % of the average when three cubes represent a test age and 7.6 % when two cubes represent a test age (Note 9).

NOTE 9—The probability of exceeding these ranges is 1 in 100 when the within-batch coefficient of variation is 2.1 %. The 2.1 % is an average for laboratories participating in the portland cement and masonry cement reference sample programs of the Cement and Concrete Reference Laboratory.

13.3 If the range of three specimens exceeds the maximum in 13.2, discard the result which differs most from the average and check the range of the remaining two specimens. Make a retest of the sample if less than two specimens remain after discarding faulty specimens or discarding tests that fail to comply with the maximum permissible range of two specimens.

NOTE 10—Reliable strength results depend upon careful observance of all of the specified requirements and procedures. Erratic results at a given test period indicate that some of the requirements and procedures have not

been carefully observed; for example, those covering the testing of the specimens as prescribed in 10.6.2 and 10.6.3. Improper centering of specimens resulting in oblique fractures or lateral movement of one of the heads of the testing machine during loading will cause lower strength results.

**14. Precision and Bias**

14.1 *Precision*—The precision statements for this test method are listed in Table 2 and are based on results from the Cement and Concrete Reference Laboratory Reference Sample Program. They are developed from data where a test result is the average of compressive strength tests of three cubes molded from a single batch of mortar and tested at the same age. A significant change in precision will not be noted when a test result is the average of two cubes rather than three.

14.2 These precision statements are applicable to mortars made with cements mixed, and tested at the ages as noted. The appropriate limits are likely, somewhat larger for tests at younger ages and slightly smaller for tests at older ages.

14.3 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of compressive strength is defined in terms of the test method.


**15. Keywords**

15.1 compressive strength; hydraulic cement mortar; hydraulic cement strength; mortar strength; strength

**TABLE 2 Precision**

	Test Age, Days	Coefficient of Variation 1s % <sup>A</sup>	Acceptable Range of Test Results d2s % <sup>A</sup>
<b>Portland Cements</b>			
Constant water-cement ratio:			
Single-lab	3	4.0	11.3
	7	3.6	10.2
Av	3	3.8	10.7
	7	3.8	10.7
Multi-lab	3	6.8	19.2
	7	6.4	18.1
Av	3	6.6	18.7
	7	6.6	18.7
<b>Blended Cements</b>			
Constant flow mortar:			
Single-lab	3	4.0	11.3
	7	3.8	10.7
Av	3	3.4	9.6
	7	3.8	10.7
Multi-lab	3	7.8	22.1
	7	7.6	21.5
Av	3	7.4	20.9
	7	7.6	21.5
<b>Masonry Cements</b>			
Constant flow mortar:			
Single-lab	7	7.9	22.3
	28	7.5	21.2
Av	7	7.7	21.8
	28	7.7	21.8
Multi-lab	7	11.8	33.4
	28	12.0	33.9
Av	7	11.9	33.7
	28	11.9	33.7

<sup>A</sup> These numbers represent, respectively, the (1s %) and (d2s %) limits as described in Practice C 670.

 **C 109/C 109M**

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

# ASTM C188 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement



Designation: C 188 – 95 (Reapproved 2003)

American Association of State Highway and Transportation Officials Standard  
AASHTO No.: T133

## Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 188; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the density of hydraulic cement. Its particular usefulness is in connection with the design and control of concrete mixtures.

1.2 The density of hydraulic cement is defined as the mass of a unit volume of the solids.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
  - C 114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement<sup>2</sup>
  - C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>3</sup>

### 3. Apparatus

3.1 *Le Chatelier flask*—The standard flask, which is circular in cross section, with shape and dimensions conforming essentially to Fig. 1 (Note 1). The requirements in regard to tolerance, inscription and length, spacing, and uniformity of graduation will be rigidly observed. There shall be a space of at least 10 mm between the highest graduation mark and the lowest point of grinding for the glass stopper.

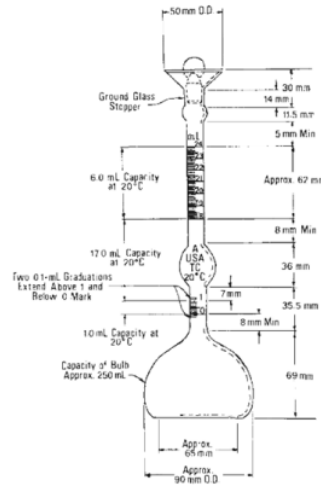
3.1.1 The material of construction shall be excellent quality glass, transparent and free of striae. The glass shall be chemically resistant and shall have small thermal hysteresis. The flasks shall be thoroughly annealed before being graduated. They shall be of sufficient thickness to ensure reasonable resistance to breakage.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C01 on Cement, and is the direct responsibility of Subcommittee C01.25 on Fineness.

Current edition approved June 10, 2003. Published August 2003. Originally approved in 1944. Last previous edition approved in 1995 as C 188 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.



NOTE—Variations of a few millimetres in such dimensions as total height of flask, diameter of base, and so forth, are to be expected and will not be considered sufficient cause for rejection. The dimensions of the flask shown in Fig. 1 apply only to new flasks and not to flasks in use which meet the other requirements of this test method.

FIG. 1 Le Chatelier Flask for Density Test

3.1.2 The neck shall be graduated from 0 to 1 mL and from 18 to 24 mL in 0.1-mL graduations. The error of any indicated capacity shall not be greater than 0.05 mL.

3.1.3 Each flask shall bear a permanent identification number and the stopper, if not interchangeably ground, shall bear the same number. Interchangeable ground-glass parts shall be marked on both members with the standard-taper symbol, followed by the size designation. The standard temperature shall be indicated, and the unit of capacity shall be shown by the letters "mL" placed above the highest graduation mark.

3.2 Kerosine, free of water, or naphtha, having a density greater than 0.73 g/mL at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  shall be used in the density determination.

3.3 The use of alternative equipment or methods for determining density is permitted provided that a single operator can obtain results within  $\pm 0.03\text{ Mg/m}^3$  of the results obtained using the flask method.

NOTE 1—The design is intended to ensure complete drainage of the flask when emptied, and stability of standing on a level surface, as well as accuracy and precision of reading.

#### 4. Procedure

4.1 Determine the density of cement on the material as received, unless otherwise specified. If the density determination on a loss-free sample is required, first ignite the sample as described in the test for loss on ignition in section 16.1 on Portland Cement of Test Methods C 114.

4.2 Fill the flask (Note 2) with either of the liquids specified in 3.2 to a point on the stem between the 0 and the 1-mL mark. Dry the inside of the flask above the level of the liquid, if necessary, after pouring. Record the first reading after the flask has been immersed in the water bath (Note 3) in accordance with 4.4.

NOTE 2—It is advisable to use a rubber pad on the table top when filling or rolling the flask.

NOTE 3—Before the cement has been added to the flask, a loose-fitting, lead-ring weight around the stem of the flask will be helpful in holding the flask in an upright position in the water bath, or the flask may be held in the water bath by a buret clamp.

4.3 Introduce a quantity of cement, weighed to the nearest 0.05 g, (about 64 g for portland cement) in small increments at the same temperature as the liquid (Note 2). Take care to avoid splashing and see that the cement does not adhere to the inside of the flask above the liquid. A vibrating apparatus may be used to accelerate the introduction of the cement into the flask and to prevent the cement from sticking to the neck. After all the cement has been introduced, place the stopper in the flask and roll the flask in an inclined position (Note 2), or gently whirl it in a horizontal circle, so as to free the cement from air until no further air bubbles rise to the surface of the liquid. If a proper amount of cement has been added, the level of the liquid will be in its final position at some point of the upper series of

graduations. Take the final reading after the flask has been immersed in the water bath in accordance with 4.4.

4.4 Immerse the flask in a constant-temperature water bath for sufficient periods of time in order to avoid flask temperature variations greater than  $0.2^\circ\text{C}$  between the initial and the final readings.

#### 5. Calculation

5.1 The difference between the first and the final readings represents the volume of liquid displaced by the mass of cement used in the test.

5.2 Calculate the cement density,  $\rho$ , as follows:

$$\rho(\text{Mg/m}^3) = \rho(\text{g/cm}^3) = \text{mass of cement, g} / \text{displaced volume, cm}^3$$

NOTE 4—The displaced volume in millilitres is numerically equal to the displaced volume in cubic centimetres.

NOTE 5—Density in megagrams per cubic metre ( $\text{Mg/m}^3$ ) is numerically equal to grams per cubic centimetre ( $\text{g/cm}^3$ ). Calculate the cement density,  $\rho$ , to three decimal places and round to the nearest  $0.01\text{ Mg/m}^3$ .

NOTE 6—In connection with proportioning and control of concrete mixtures, density may be more usefully expressed as specific gravity, the latter being a dimensionless number. Calculate the specific gravity as follows: Sp gr = cement density/water density at  $4^\circ\text{C}$  (at  $4^\circ\text{C}$  the density of water is  $1\text{ Mg/m}^3(1\text{g/cm}^3)$ ).

#### 6. Precision and Bias

6.1 The single-operator standard deviation for portland cements has been found to be 0.012.<sup>4</sup> Therefore, the results of two properly conducted tests by the same operator on the same material should not differ by more than 0.03.

6.2 The multilaboratory standard deviation for portland cements has been found to be 0.037.<sup>4</sup> Therefore, the results of two properly conducted tests from two different laboratories on samples of the same cement should not differ by more than 0.10.<sup>4</sup>

6.3 Since there is no accepted reference material suitable for determining any bias that might be associated with this test method, no statement on bias is being made.

#### 7. Keywords

7.1 density; hydraulic cement; specific gravity

<sup>4</sup> These numbers represent the 1s and d2s limits described in Practice C 670.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

Anexo 8: Fotos





























# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

### REPORTE DE ANALISIS DE FISICO QUIMICO MECANICOS DE MUESTRAS

SOLICITANTE: Br. Nixón Francisco Salas Pereda

Fecha: 20 octubre 2023. Nota: Muestras puestas en laboratorio

Anexo 4: Resultados de laboratorio

Tabla 1.0 Densidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )						
7 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	1.9	2.02	1.88	2	1.93	1.95
SP1 - 1 / a1	2.28	2.3	2.31	2.28	2.46	2.33
SP2 - 1 / a2	2.49	2.41	2.35	2.5	2.47	2.44
SP3 - 1 / a3	2.13	2.23	2.1	2.22	2.25	2.19
SP4 - 1 / a4	1.88	1.96	2.02	1.91	1.98	1.95
14 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	2	1.96	2.01	1.94	1.99	1.98
SP1 - 2 / a1	2.36	2.31	2.42	2.29	2.37	2.35
SP2 - 2 / a2	2.47	2.44	2.51	2.47	2.53	2.48
SP3 - 2 / a3	2.24	2.25	2.19	2.25	2.17	2.22
SP4 - 2 / a4	2.07	1.92	1.98	1.95	1.93	1.97
28 días						
Mortero	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	2.04	2	2.12	2.01	1.94	2.02
SP1 - 3 / a1	2.39	2.36	2.42	2.35	2.37	2.38
SP2 - 3 / a2	2.57	2.53	2.58	2.52	2.54	2.55
SP3 - 3 / a3	2.26	2.23	2.28	2.22	2.24	2.25
SP4 - 3 / a4	2.2	1.81	2.01	1.97	1.98	1.99



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

Tabla 2.0 Porosidad de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante

Porosidad (%)						
7 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	7.2	8.6	7.4	7.9	8.5	7.9
SP1 - 1 / a1	6.1	5.6	5.2	6.3	6.9	6.0
SP2 - 1 / a2	5.0	6.1	5.4	6.0	6.1	5.7
SP3 - 1 / a3	7.8	8.0	7.3	7.7	6.9	7.5
SP4 - 1 / a4	8.3	8.8	9.0	8.8	9.0	8.8
14 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	7.1	6.9	7.6	8.7	7.3	7.5
SP1 - 2 / a1	5.4	6.1	5.4	6.6	5.1	5.7
SP2 - 2 / a2	4.9	5.6	5.2	4.6	6.0	5.3
SP3 - 2 / a3	7.6	7.0	7.3	6.8	7.4	7.2
SP4 - 2 / a4	8.8	8.7	9.2	7.9	8.2	8.6
28 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	7.1	6.4	7.2	7.4	7.0	7.0
SP1 - 3 / a1	5.0	5.5	4.6	5.2	5.3	5.1
SP2 - 3 / a2	4.5	4.6	4.3	5.1	4.8	4.7
SP3 - 3 / a3	7.7	6.7	6.5	6.8	6.7	6.9
SP4 - 3 / a4	7.8	7.8	8.1	7.6	8.2	7.9



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

Tabla 3.0 Resistencia a la compresión de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sílice-plastificante

Resistencia a la compresión (MPa)						
7 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 1 / GC	8.32	8.18	7.88	9.52	8.27	8.43
SP1 - 1 / a1	10.09	9.01	9.39	9.45	8.65	9.32
SP2 - 1 / a2	11.49	11.46	10.88	11.15	10.67	11.13
SP3 - 1 / a3	9.66	9.02	8.23	9.02	9.65	9.12
SP4 - 1 / a4	7.23	7.52	7.92	8.01	7.11	7.56
14 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 2 / GC	10.29	9.21	9.91	10.15	8.54	9.62
SP1 - 2 / a1	10.19	11.52	10.31	11.6	10.07	10.74
SP2 - 2 / a2	13.34	12.32	12.96	11.91	13.07	12.72
SP3 - 2 / a3	10.37	11.2	10.82	10.5	10.83	10.74
SP4 - 2 / a4	8.35	7.98	8.49	7.23	8.65	8.14
28 días						
Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio
SPP - 3 / GC	10.74	11.88	12.02	11.3	11.31	11.45
SP1 - 3 / a1	12.88	11.72	13.62	12.26	11.56	12.41
SP2 - 3 / a2	15.14	13.93	15.24	15.14	14.41	14.77
SP3 - 3 / a3	11.96	11.59	11.64	12.57	11.5	11.85
SP4 - 3 / a4	8.95	9.44	9.1	9.88	10.24	9.52

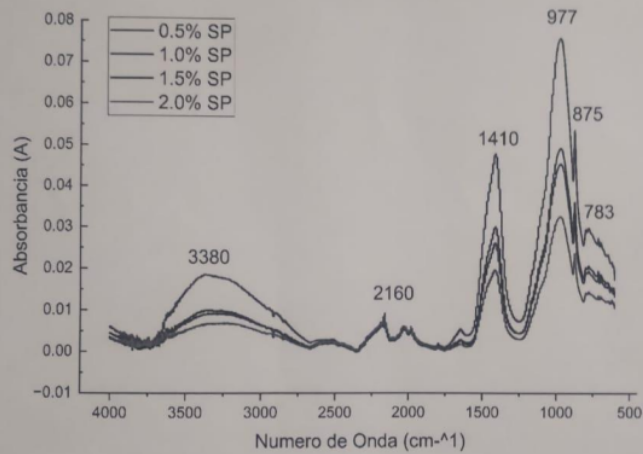


UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Facultad de Ingeniería

Departamento Académico de Ingeniería de Materiales

Figura 1.0. Espectro FTIR de morteros activados alcalinamente a partir de concreto reciclado con influencia de porcentaje de sikacem-plastificante



*Dr. Ing. Vega Anticona Alexander Y.*  
Jefe de Laboratorio

# ÍNFORME DE TESIS - NFSP

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="http://repositorio.uct.edu.pe">repositorio.uct.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
5	YASNA PAMELA SEGURA SIERPE. "Reutilización de residuos de construcción en la fabricación de conglomerantes de activación alcalina.", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	1%
6	NOELIA BOUZÓN ORGEIRA. "ACTIVADORES ALCALINOS ALTERNATIVOS A PARTIR DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ PARA LA PREPARACIÓN DE GEOPOLÍMEROS", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	1%

---

7	<a href="http://repositorio.ucp.edu.pe">repositorio.ucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
8	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1 %
9	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://repositorio.upct.es">repositorio.upct.es</a> Fuente de Internet	1 %
11	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
17	S. A. Bernal, R. Mejía de Gutiérrez, F. Ruiz, H. Quiñones, J. L. Provis. "Desempeño a temperaturas altas de morteros y hormigones basados en mezclas de	<1 %



# escoria/metacaolín activadas alcalinamente", Materiales de Construcción, 2012

Publicación

---

18	<a href="http://repositorio.uigv.edu.pe">repositorio.uigv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080">www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://pdfs.semanticscholar.org">pdfs.semanticscholar.org</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://view.genial.ly">view.genial.ly</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a> Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to 97794 Trabajo del estudiante	<1 %
27	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://www.biblio.colpos.mx:8080">www.biblio.colpos.mx:8080</a> Fuente de Internet	<1 %

---

29	<a href="http://plus.si.cobiss.net">plus.si.cobiss.net</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.upci.edu.pe">repositorio.upci.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://repositorio.uprit.edu.pe">repositorio.uprit.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://cms.unov.org">cms.unov.org</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
39	<a href="http://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://baixardoc.com">baixardoc.com</a>	

---

Fuente de Internet

<1 %

41

[es.first5la.org](http://es.first5la.org)

Fuente de Internet

<1 %

42

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

<1 %

43

[repositorio.unsm.edu.pe](http://repositorio.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

44

[pdffox.com](http://pdffox.com)

Fuente de Internet

<1 %

45

[repositorio.ufla.br](http://repositorio.ufla.br)

Fuente de Internet

<1 %

46

[rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com](http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com)

Fuente de Internet

<1 %

47

[www.virtualpro.co](http://www.virtualpro.co)

Fuente de Internet

<1 %

48

Submitted to Brunel University

Trabajo del estudiante

<1 %

49

Submitted to Instituto Tecnológico de Costa Rica

Trabajo del estudiante

<1 %

50

[journaldatabase.info](http://journaldatabase.info)

Fuente de Internet

<1 %

51

[latam.redilat.org](http://latam.redilat.org)

Fuente de Internet

<1 %

52

[moam.info](http://moam.info)

Fuente de Internet

<1 %

53

[oa.upm.es](http://oa.upm.es)

Fuente de Internet

<1 %

54

[vibdoc.com](http://vibdoc.com)

Fuente de Internet

<1 %

55

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

56

[buscador.una.edu.ni](http://buscador.una.edu.ni)

Fuente de Internet

<1 %

57

[de.slideshare.net](http://de.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

58

[es.gstarcad.net](http://es.gstarcad.net)

Fuente de Internet

<1 %

59

[futur.upc.edu](http://futur.upc.edu)

Fuente de Internet

<1 %

60

[patents.google.com](http://patents.google.com)

Fuente de Internet

<1 %

61

[pesquisa.bvsalud.org](http://pesquisa.bvsalud.org)

Fuente de Internet

<1 %

62

[repository.usta.edu.co](http://repository.usta.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

63	<a href="http://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://www.blackrock.com">www.blackrock.com</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://www.grafiati.com">www.grafiati.com</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://www.investhonduras.hn">www.investhonduras.hn</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://www.usaid.gov">www.usaid.gov</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo